

P. B. e J. S. MEDAWAR
DA ARISTOTELE
A ZOO

DIZIONARIO FILOSOFICO
DI BIOLOGIA

SAGGI

ARNOLDO
MONDADORI
EDITORE

Un «dizionario filosofico» nello spirito di Voltaire è ciò che propongono in questo libro Peter Medawar e sua moglie Jean Medawar, lui premio Nobel per la medicina, lei biologa illustre, entrambi di formazione oxfordiana.

Attraverso circa duecento voci, da leggere con la stessa curiosità che muoveva i lettori dell'Enciclopedia dell'illuminismo, di seguito o secondo il gusto del momento, gli autori ripropongono il succo di mezzo secolo di sviluppi della biologia. Si tratta di sviluppi clamorosi, che vanno dalla biologia molecolare alla genetica, ma si tratta anche di scoperte che modificano l'intera concezione di sé che l'uomo ha costruito in secoli di certezze incrollabili.

Ecco allora affiorare, accanto al rigore dello scienziato, lo spirito ironico e i giudizi personali del filosofo, che riflette sì sul passato e sul futuro biologico dell'umanità ma per indagare nelle profondità inesplorate della sua coscienza.

Peter B. Medawar è direttore del settore di biologia dei trapianti presso il Medical Research Council di Londra. Nel 1960 ha ricevuto con F.M. Burnet il premio Nobel per la medicina e la fisiologia. È autore di vari volumi, molti dei quali tradotti in italiano, tra cui *L'immaginazione scientifica* (1968), *L'unicità dell'individuo e il futuro dell'uomo* (1969), *Induzione e intuizione nel pensiero scientifico* (1971²), *Difesa della scienza* (1978), *Consigli a un giovane scienziato* (1981) e, in edizione Mondadori, *Introduzione alla biologia* (con J.S. Medawar, 1976).

Jean S. Medawar, biologa, è membro del consiglio dell'International Institute of Environment and Development e del World Wild Life Fund.

Le sue ricerche vertono soprattutto sui problemi dell'ecologia e del rapporto tra popolazioni e risorse. Tra i suoi libri, *The Life Science* (1977, con P.B. Medawar) e *Life Class* (1979).

0025284-1

Lire 23.000
(IVA comp.)



P.B. Medawar e J.S. Medawar

DA ARISTOTELE A ZOO

Dizionario filosofico di biologia

ARNOLDO MONDADORI EDITORE

Degli stessi autori
Nella Collezione Biblioteca della Est
Introduzione alla biologia

Copyright © 1983 by P.B. Medawar and J.S. Medawar
© 1986 Arnoldo Mondadori Editore S.p.A., Milano
Titolo dell'opera originale
Aristotle to Zoos

Traduzione di Libero Sosio, Marco e Dida Paggi
Revisione di Libero Sosio
I edizione gennaio 1986

Da Aristotele a Zoo

Prefazione

La Harvard University Press, usando come esca la raffinata traduzione inglese di Peter Gay del *Dictionnaire philosophique* di Voltaire, edita nel 1962, ci invitò a scrivere un «dizionario filosofico della biologia»; ma mentre Voltaire aveva preso come oggetto del suo dizionario il mondo intero, noi dovevamo limitarci ad argomenti di biologia, conservando l'impostazione esterna di Voltaire e, se possibile, qualcosa del suo spirito. Noi speriamo che il nostro titolo *Da Aristotele a Zoo* non prometta, con la sua strutturazione in voci dall'A alla Z, una completezza di trattazione a cui non aspiriamo.

Quest'opera è filosofica solo nel comodo senso domestico di essere stata fatta a nostro agio, e di essere rilassata e nutrita di riflessioni. In essa non è presente una filosofia accomunata da una qualche affinità con la *Naturphilosophie* che fu così popolare in Germania nell'Ottocento: una forma scientifica di bella letteratura impegnata nei virtuosismi più arbitrari per dare un senso agli enigmi di cui abbonda la biologia.

È alla *Naturphilosophie* che dobbiamo la supposizione dell'esistenza degli organismi più semplici e di gran lunga più primordiali fra tutti – le monere –, costituiti soltanto, come richiedeva la filosofia della natura dominante, da protoplasma nudo; alla filosofia della natura dobbiamo anche la concezione che il cranio dei vertebrati sia formato essenzialmente dalla fusione e dal rimodellamento adattivo delle prime vertebre. È una vergogna che Thomas Henry Huxley, il cui esperto lavoro d'accetta su questa teoria del cranio fu oggetto di una famosa *Croonian Lecture* alla Royal Society nel 1858, sia stato sviato a tal punto dalle monere di Ernst Haeckel da scoprire un esemplare di questo gruppo in un

recupero con la draga di materiali dalle profondità dell'Atlantico.

Lo spirito della *Naturphilosophie* riecheggia però ancora nella concezione erronea secondo cui le cellule cancerose sarebbero essenzialmente cellule embrionali che, sfuggite alla disciplina del differenziamento, persistono anormalmente sino alla vita adulta, sviluppandosi in seguito in tumori maligni. Tutti i biologi esperti condivideranno la nostra preoccupazione che l'elemento «filosofico» in questo dizionario non venga inteso in questo senso profondamente erroneo.

Questo non è, d'altra parte, un libro di consultazione e neppure un dizionario di spiegazioni e di definizioni. Non c'è bisogno di un'opera del genere finché si continuerà a stampare il *Penguin Dictionary of Biology*, un piccolo capolavoro di sapere specialistico e di abilità espositiva, che è giunto nel 1983 alla decima edizione. Noi includiamo in quest'opera un certo numero di definizioni, è vero, se non altro per istituire una connessione evolutiva con un dizionario di tipo più comune di quello di Voltaire, ma queste definizioni sono raggruppate sotto la voce generale delle discipline in cui rientrano. Una questione di gusto personale ci ha sconsigliato di seguire la principale innovazione dell'*Encyclopaedia Britannica* del 1771: l'inclusione di articoli generali molto lunghi dedicati a intere scienze, articoli ai quali chi ricerca un'informazione di dettaglio viene ripetutamente rinviato. Pensiamo che chiunque, per curiosità o per timore, vada a cercare le pagine dedicate alla spina bifida, voglia che gli venga detto che cos'è, senza essere rimandato a un trattato di embriologia.

Forse il brano più famoso del *Dizionario filosofico* di Voltaire si trova alla voce «Bene, Tutto è bene», contenente la teodicea nera che comincia così: «O Dio vuole togliere il male da questo mondo, e non lo può, o lo può e non lo vuole; o non lo vuole, né lo può» [Mondadori, Milano 1968, pp. 114-115]. Voltaire citò l'intero passo da un trattato sulla collera divina del padre della Chiesa Lattanzio, del IV secolo, che attribuisce tali parole a Epicuro. Il disprezzo con cui Voltaire liquida il tentativo di Lattanzio di rovesciare le implicazioni di questo ragionamento ci induce a pensare che egli avrebbe avuto poca pazienza col tipo di contorti ragionamenti teologici portati all'attenzione del mondo dal reverendo Lord Bridgewater, di cui considereremo a suo luogo nel testo le opinioni.

Se questo libro non è un'opera di riferimento, e se non serve per cercarvi cose, che cos'è, e per chi è? È un libro da scorrere per curiosità. Per cavarne il massimo profitto, ci si deve astenere assolutamente dal leggervi qualsiasi cosa non si abbia il desiderio di sapere e si deve esercitare sempre il privilegio liberatorio del lettore: quello di saltare qua e là come meglio ci aggrada.

Fra i lettori colti pensiamo potrebbero esserci biologi, sociologi, psicologi e altri membri della crescente popolazione di persone capaci di riflettere che vedono nella biologia la scienza più rilevante per la comprensione e il miglioramento della condizione umana.

Siamo grati ai seguenti enti per il permesso di riprodurre le figure e le fotografie che appaiono nel testo: allo Science Museum di Londra per le figure che illustrano la rappresentazione geometrica tridimensionale di varie funzioni algebriche; alla Clarendon Press per l'illustrazione della funzione di Gompertz e delle sue principali derivate; alla Royal Society per l'illustrazione del modo in cui curve di accrescimento possono essere rese confuse da curve di distribuzione; e alla Cambridge University Press per le figure tratte dal libro di Sir D'Arcy Wentworth Thompson *On Growth and Form*.

È per noi un piacere anche ricordare il debito particolare che abbiamo nei confronti della nostra assistente letteraria, la signora Joy Heys, per l'aiuto prestatoci nella preparazione del manoscritto, e di Vivian Wheeler, redattrice alla Harvard University Press per il suo scrupoloso *editing* e ordinamento del nostro manoscritto.

P.B.M.
J.S.M.

ACCRESIMENTO BIOLOGICO, LEGGI DELL'

Qui saranno formulate due leggi. La prima è che l'accrescimento biologico è fondamentalmente del tipo moltiplicativo, in quanto il suo prodotto è, tipicamente, capace di accrescersi a sua volta. Questa proprietà svolge una funzione importante nel determinare la forma più appropriata in cui rappresentare la grandezza corporea in funzione dell'età.

Se P rappresenta la grandezza (peso, numero, o una dimensione lineare a seconda dei casi) e t l'età di un organismo, possiamo rappresentare la grandezza in funzione dell'età nei modi alternativi illustrati dalle due colonne nella figura 1. Possiamo, da un lato, rappresentare in funzione dell'età la somma di tutti gli incrementi di grandezza che si accumulano nel corso della vita e generare in tal modo una curva di accrescimento semplice in cui la quantità aritmetica rappresentata in funzione dell'età è $\int dP$ o, più semplicemente P , come in (a). Questa curva di accrescimento ha sempre un punto di inflessione, in corrispondenza del quale l'accrescimento cessa di aumentare e ha inizio una diminuzione. Il punto d'inflessione si manifesta perciò nella curva del tasso di accrescimento (b) sotto forma di un massimo, e nella curva dell'accelerazione (c) come il suo punto di intersezione con l'asse del tempo (accelerazione = 0).

Benché la curva dell'accrescimento e quelle da essa derivate esercitino una grande attrazione grazie alla loro semplicità, la maggior parte degli studiosi dell'accrescimento ritengono che si debba preferir loro, in virtù del maggiore contenuto d'informazione, la curva dell'*accrescimento specifico*. In questa formulazione la quantità che rappresentiamo graficamente non è il semplice valore aritmetico P , ma gli incrementi cumulativi di grandezza

considerati come frazioni della grandezza già conseguita. Quel che rappresentiamo è, in effetti, la quantità integrale $\int dP/P$, scritta più comunemente $\log_e P$. Le tre curve – accrescimento specifico (d), tasso dell'accrescimento specifico (e) e accelerazione specifica (f) – sono illustrate nella colonna di destra della figura. Le curve sono state disegnate sulla base di un'equazione della funzione di Gompertz (vedi l'ultima riga della tabella a p. 14), ma la scala delle ordinate è stata ogni volta adattata per uniformare l'altezza dei vari diagrammi. La tabella dimostra le proprietà analitiche delle tre funzioni usate più spesso e più efficacemente per rappresentare il corso dell'accrescimento di singoli organismi o di popolazioni. L'ultima colonna illustra la seconda delle due leggi che includono le affermazioni più generali che possiamo fare sull'accrescimento biologico.

Questa seconda legge dice che l'accelerazione specifica dell'accrescimento è sempre negativa. La chiameremo Legge di Minot, per ragioni spiegate nella voce INVECCHIAMENTO. Combinando le due leggi in una singola enunciazione, possiamo dire che, benché l'accrescimento biologico sia fondamentalmente del tipo moltiplicativo, i sistemi viventi perdono progressivamente la capacità di moltiplicarsi col ritmo con cui si sono formati all'inizio.

Il senso della scelta della rappresentazione logaritmica (d) di contro alla rappresentazione aritmetica semplice (a) è reso particolarmente chiaro dalla considerazione che in una scala aritmetica divisioni uguali della scala rappresentano incrementi di grandezza uguali, mentre in una scala logaritmica divisioni uguali rappresentano *multipli* uguali di grandezza.

In apparenza la curva di accrescimento in (a) ingloba un concetto semplice e scevro da alcuna complicazione; eppure, quanto più in profondità lo sondiamo, tanto più complesso ci si rivela. Quali quantità, per esempio, devono essere incluse nella «grandezza», P ? Dobbiamo comprendervi sicuramente prodotti finiti che sono inerti dal punto di vista di un ulteriore accrescimento, come pelo, corna e unghie; in questo caso, ogni curva integrale dell'accrescimento non dovrebbe comprendere tutto il pelo, le corna e le unghie che si sono formati nel corso della vita e che sono caduti, si sono consumati o sono andati in altro modo perduti? Per evitare interrogativi imbarazzanti come questi, alcuni studiosi dell'accrescimento hanno tentato di tracciare una distinzione fra un «vero

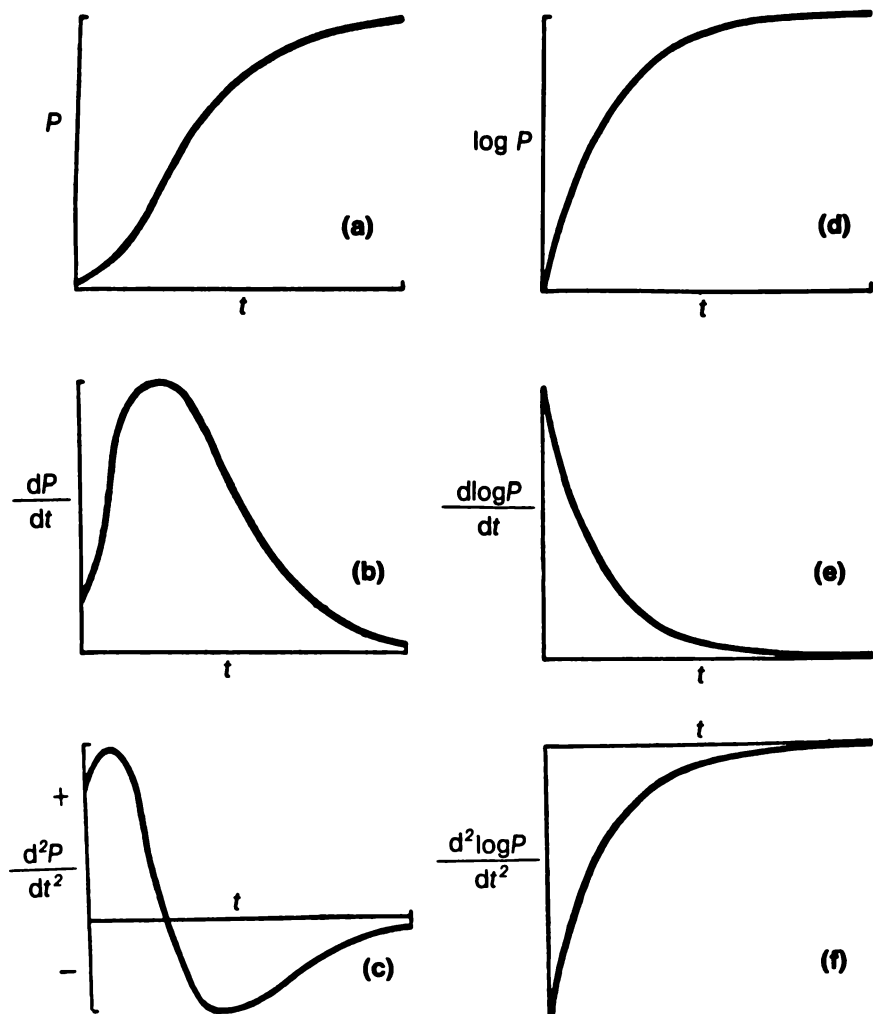


Figura 1

Funzione	Equazione	Forma lineare	P ($t=0$)	p ($t \rightarrow \infty$)	Punto di inflexione (P, t)	Tasso specifico di accrescimento	Accelerazione specificata
«Mono- molecolare»	$P = a(1 - be^{-kt})$	$\log \frac{a-P}{a} = \log b - kt$	$a(1-b)$	a	—	$\frac{kbe^{-kt}}{1 - be^{-kt}}$	$-\frac{k^2be^{-kt}}{(1 - be^{-kt})^2}$
Logistica	$P = \frac{a}{1 + be^{-kt}}$	$\log \frac{a-P}{P} = \log b - kt$	$\frac{a}{1+b}$	a	$\frac{a}{2}, \frac{\log b}{k}$	$\frac{kbe^{-kt}}{1 + be^{-kt}}$	$-\frac{k^2be^{-kt}}{(1 + be^{-kt})^2}$
di Gompertz	$P = ae^{-be^{-kt}}$	$\log \log \frac{a}{P} = \log b - kt$	ae^{-b}	a	$\frac{a}{e}, \frac{\log b}{k}$	kbe^{-kt}	$-k^2be^{-kt}$

NOTE: In questa tabella delle tre funzioni di accrescimento comuni e delle loro proprietà analitiche più importanti, il simbolo P può essere letto "grandezza": di solito sta per il peso. I logaritmi sono espressi nella base naturale e . Molte fra le proprietà analitiche possono essere espresse più

semplicemente come funzioni di P anziché dell'età, t ; come variabile indipendente è stato scelto però il tempo. (Tabella adattata da *Essays on Growth and Form Presented to D'Arcy Wentworth Thompson*, a cura di W.E. Le Gros Clark e P.B. Medawar, Oxford 1945, p. 160.)

accrescimento» e quello che essi ritengono presumibilmente una «mera crescita»; la moltiplicazione di cellule o di molecole di acidi nucleici è un vero accrescimento, mentre l'imbibizione d'acqua e l'accumulo per aggregazione di materia inerte è un mero incremento meccanico. Quest'uso linguistico non è però sostenibile: esso è una sopravvivenza della mistica del protoplasma, che distingue fra il protoplasma di un animale, che è genuinamente vivo, e le altre sue parti, che sono morte, cosicché il vero accrescimento sarebbe sinonimo di «aumento del protoplasma».

Un'altra complicazione si verifica quando ci chiediamo che cosa esattamente misuriamo quando rappresentiamo la grandezza, P , in funzione dell'età, t . Le curve $(a)-(f)$ dovrebbero rappresentare un corso di accrescimento tipico di *un* organismo, ma in circostanze normali difficilmente una tale curva potrebbe essere di interesse generale, e potrebbe addirittura non presentare alcun interesse, a meno che non si tratti della curva disegnata da una madre amorevole dell'accrescimento di un suo figlio. In pratica, perciò, non misuriamo un solo organismo, ma più spesso un gruppo di organismi. Di solito accade che un centinaio o più di organismi alla nascita vengano pesati a intervalli per tutta la vita, rappresentando il loro peso *medio* in funzione dell'età. Per quanto questo procedimento possa apparire semplice, è in realtà irto di trappole, fra cui il pericolo che quelle che sembrano in apparenza curve di accrescimento siano in realtà curve di distribuzione, come illustrerà il seguente esempio immaginario, deliberatamente estremo.

Nella figura 2, A è la curva di accrescimento di un organismo ipotetico che, a metà circa della sua vita, sperimenta un brusco periodo di rapida crescita, illustrato dall'incremento a forma di gradino della curva di accrescimento. Supponiamo ora che la rapidità con cui questo accrescimento ha luogo vari da un organismo all'altro, e che sia normalmente distribuita attorno a un valore medio con varianza unitaria. Questa situazione è illustrata in B , in cui sono rappresentate un insieme di curve di accrescimento, ciascuna del tipo illustrato dal singolo organismo rappresentato in A . Qui non c'è da recriminare su nulla, tranne ovviamente che sull'improbabilità estrema di un accrescimento di questo genere: cosa che, come s'è accennato, è giustificata dalla scelta deliberata dell'esempio a fini illustrativi. Supponiamo ora di rappresentare in funzione dell'età la grandezza *media*, P , di un organismo col

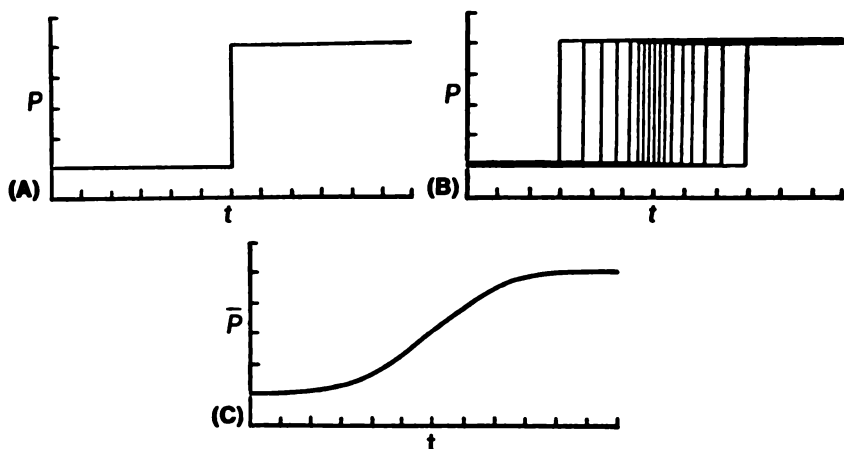


Figura 2

comune procedimento delle medie. La curva «di massa» ha la forma curvilinea illustrata in C; essa è totalmente diversa dalla curva di accrescimento di un individuo, ma per costruzione dev'essere una curva modificata della distribuzione normale, e deve significare non il corso della crescita bensì la distribuzione nel tempo del periodo di accrescimento bruscamente accelerato che si è supposto per ciascun singolo organismo.

Queste difficoltà e altre del genere nulla tolgono al significato delle due leggi di accrescimento formulate sopra: la legge moltiplicativa, che specifica la norma dell'accrescimento biologico, e la seconda legge, che specifica le deviazioni dalla norma nella vita reale.

ACQUA

Gli animali terrestri sono composti per circa tre quarti d'acqua. («Persino il Papa è per il 70 per cento acqua», disse J.B.S. Haldane, indifferente come sempre alla suscettibilità della comunità cattolica.) Ma ovviamente l'acqua ha altri titoli per richiamare su di sé l'attenzione dei biologi: nello sviluppo l'acqua è la culla della vita, come nell'evoluzione ne fu l'asilo d'infanzia.

Persino chi non sa nient'altro di scienza sa che l'acqua ha una struttura atomica rappresentata dalla formula empirica H_2O . Speriamo che il mondo non venga sconvolto nell'udire che l'acqua esiste in forme la cui struttura molecolare è resa con maggiore precisione dalle formule empiriche H_4O_2 , o addirittura H_8O_4 . Le proprietà fisiche dell'acqua assumono talvolta valori estremi che interessano specificamente ai biologi. Per esempio, occorre più calore per far aumentare di $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura di un volume unitario d'acqua che di qualsiasi altra sostanza; questa proprietà facilita grandemente la distribuzione del calore nel corpo e il trasporto di calore da parte di correnti oceaniche (come la Corrente del Golfo e la corrente Nordatlantica).

Il calore latente di evaporazione dell'acqua (misurato come l'energia termica richiesta per causare l'evaporazione di 1 ml) è maggiore di quello di ogni altra sostanza. Anche questo fatto ha implicazioni geografiche e biologiche. Sul piano biologico consente la regolazione della temperatura corporea mediante evaporazione; su quello geofisico provvede alla conservazione di una temperatura più uniforme sulla Terra, poiché la grande quantità di calore assorbito durante l'evaporazione delle acque superficiali viene restituito durante la condensazione che precede la caduta della pioggia.

Un'altra curiosa proprietà fisica dell'acqua è quella di essere più densa a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ che a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, quando solidifica sotto forma di ghiaccio, col risultato che il ghiaccio galleggia e che grandi masse d'acqua ghiacciano solo in superficie. Un lago non si trasformerà in un blocco di ghiaccio se non nel caso, reso molto improbabile dalla conducibilità termica piuttosto bassa dell'acqua, che questa ghiacci tutta, dallo strato superficiale a quello più profondo. Del resto, un lago che fosse ghiacciato totalmente non farebbe in tempo a scongelare nel corso dell'intero anno.

Queste proprietà biologicamente felici dell'acqua furono un elemento primario della variante, interessante ma biologicamente scorretta, elaborata da Lawrence Joseph Henderson (1878-1942), dell'argomento dell'esistenza di un disegno divino in natura. La sua tesi centrale in *Fitness of Environment* (New York 1913) fu che l'ambiente naturale fornito dalla Terra, lungi dall'aver avuto un'origine casuale e fortuita, è così ben adattato all'emergere della vita che possiamo ritenerlo «predisposto» a tale fenomeno. Quest'argomento è alquanto debole, giacché le proprietà degli or-

ganismi viventi (compresa la capacità di fare proposte come questa) sono quel che sono perché le proprietà dell'ambiente erano quel che erano. Noi possiamo considerare retrospettivamente tali proprietà e dire che è una fortuna che siano state così, dal momento che non c'è alcuna alternativa concepibile.

Il nostro corpo perde acqua nell'urina e nella traspirazione, e per evaporazione dalla superficie del corpo e dai polmoni; ma, come il corpo di altri mammiferi, conserva con molta efficienza i sali. Benché il sale passi attraverso l'elemento filtrante del rene, viene riassorbito nel corpo. Per reintegrare la concentrazione appropriata di liquidi corporei è necessario dunque assumere acqua in quanto acqua (ossia non già predestinata come solvente di sali e di componenti solubili del corpo).

La relativa facilità con cui l'ingegneria civile ha reso possibile agli esseri umani di estinguere la sete ci ha resi insensibili alla difficile situazione delle foche e delle balene: i loro liquidi corporei hanno infatti una composizione molto simile alla nostra e anche il loro bisogno d'acqua è in gran parte lo stesso. Come il Vecchio Marinaio della ballata di Coleridge, benché circondate dall'acqua non possono bere, poiché l'acqua di mare ha una concentrazione salina maggiore di quella dei loro liquidi corporei, e berla non farebbe altro che esacerbare il loro bisogno. Per i mammiferi il mare è arido. L'acqua dolce è una vera ghiottoneria per cetacei e otariidi, e le foche, quando hanno la possibilità di berne, lo fanno con un piacere evidente. Purtroppo una tale opportunità non capita loro tanto spesso. La loro richiesta d'acqua dolce, benché un po' diminuita dall'escrezione di un'urina più concentrata di quella dei mammiferi terrestri, è aggravata dalla perdita d'acqua inevitabile nelle balene e foche che allattano (anche se il latte delle balene è relativamente denso e burroso). Il bilancio idrico viene in qualche modo riequilibrato attraverso un guadagno d'acqua dalla combustione di carboidrati e specialmente di grasso – processi che liberano «acqua metabolica» – e dai liquidi corporei degli invertebrati che costituiscono una parte così grande della dieta delle balene a fanoni. Il metabolismo della materia organica in questi liquidi corporei libera infine l'acqua che può svolgere un ruolo osmoticamente attivo nel corpo della balena, e il filtro costituito dai fanoni consente di eliminare gran parte dell'acqua di mare che altrimenti potrebbe essere assunta assieme col cibo.

Non si può calmare la sete bevendo un liquido con la stessa concentrazione salina dei propri liquidi corporei. Non per questo si deve però rimproverare il Vecchio Marinaio se si morse il braccio per succhiare il sangue; il suo scopo non era infatti quello di calmare la sete, bensì quello di bagnarsi la bocca per poter gridare «Una vela! Una vela!», grido che non gli sarebbe altrimenti uscito dalla gola.

ACQUICOLTURA

L'acquicoltura sta agli organismi acquatici come l'allevamento sta ad animali terrestri quali polli e bovini. Tra gli animali allevati in ambiente acquatico vi sono pesci, come il pescegatto, la trota, il salmone, la triglia; crostacei come l'aragosta; molluschi come l'ostrica. Tra acquicoltura e allevamento convenzionale esistono naturalmente chiare analogie. Entrambi richiedono l'uso di fertilizzanti e di nutrienti, che possono essere d'origine organica o inorganica; in entrambi gli animali da allevare vengono rinchiusi in abitazioni o recinti, molto spesso sotto forma di gabbie o in compartimenti galleggianti delimitati da reti, o, nel caso di ostriche, di cavi verticali sospesi cui possono essere fissate piattaforme orizzontali; in entrambi si richiedono un attento controllo contro i predatori nonché rigorose misure igieniche. L'acquicoltura è però intrinsecamente più complessa e difficile dell'allevamento tradizionale se non altro perché la maggior parte degli animali acquatici fatti oggetto di allevamento sono carnivori e vanno dunque nutriti di conseguenza, in contrasto con la situazione più semplice degli animali erbivori, che si limitano a trasformare cereali in carne. L'acquicoltura dovrebbe essere considerata una fonte di proteine, più che di cibo in generale. La produzione annua di proteine è nell'ordine di un milione di tonnellate, con la prospettiva di poter aumentare il rendimento del 50 per cento mediante l'introduzione di tecniche più perfezionate.

ADATTAMENTO

Questa parola è usata in biologia in vari sensi differenti, i cui contesti sono tuttavia così diversi tra loro da rendere minimo il rischio di confusioni.

L'adattamento può riferirsi alle trasformazioni che si verificano nel corso del processo evolutivo, e grazie alle quali un organismo viene adattato al suo portamento o al suo habitat (le ali adattano gli uccelli al volo; il lungo muso adatta i formichieri a nutrirsi d'insetti); in un certo senso l'evoluzione è sempre adattamento.

Il termine adattamento può riferirsi anche a un mutamento nello stile di vita di un singolo individuo che gli permetta di affrontare con maggior successo i rischi cui il suo ambiente può esporlo: la formazione di spessori cornei o calli là dove la scarpa sfrega contro il piede è un tale adattamento; un altro è la formazione di un anticorpo contro un agente patogeno; ma si possono citare anche l'aumento del numero dei globuli rossi in un ambiente povero d'ossigeno – come per esempio a grandi altitudini –, così come l'aumento della massa dei muscoli prodotto dalla ripetizione di certi sforzi. I mutamenti adattivi di questo tipo non vengono registrati nel genoma e non sono quindi ereditabili.

Nel contesto della sensazione il termine si riferisce al fatto che uno stimolo sensoriale prolungato e uniforme cessa alla fine di dar luogo a un messaggio sensoriale: così, per esempio, quando si entra in una stanza in cui ci siano delle rose in un primo momento se ne può percepire il profumo, ma qualche tempo dopo non lo si sente più. Una volta che si sia verificato questo processo di adattamento sensoriale, lo stimolo non è più percepibile per quanto vi si possa concentrare volontariamente l'attenzione; si tratta quindi di un fenomeno del tutto diverso da quanto accade con il ticchettio di un orologio, di cui non si è consapevoli ma che si può percepire subito non appena vi si presta attenzione. Un errore popolare vuole che la gomma da masticare riacquisti il suo sapore se, tolta di bocca, venga lasciata riposare per qualche tempo, magari appiccicata sotto una sedia. È inutile dire che non è il sapore che si rigenera, ma la capacità di tornare a sentirlo, grazie al venir meno dell'adattamento sensoriale.

AGGRESSIVO, ISTINTO

Coloro che parlano di «istinto aggressivo» (e fra questi sono ben pochi i biologi di professione) si risentono quando si fa loro notare che parlano di una cosa che non esiste: non esiste, cioè, una pulsione o un comportamento appetitivo che si soddisfi o scarichi

mediante atti aggressivi. È vero che ci sono elementi aggressivi in una varietà di comportamenti istintivi: per esempio nella difesa del territorio, nella rivalità sessuale o nella competizione per il cibo. Gli etologi sanno che il comportamento aggressivo è spesso un bluff: si tratta per lo più di un semplice avvertimento o minaccia, con cui si può ottenere senza rischio per gli antagonisti lo stesso risultato di un'aggressione vera e propria. È del tutto priva di fondamento l'idea che, essendo «l'uomo un animale aggressivo» e non potendosi «cambiare la natura umana», le guerre fra nazioni sarebbero la conseguenza inevitabile degli istinti. Chi ha un minimo di cultura non ha bisogno di leggere quanto scrivono gli etologi per confutare argomentazioni così trite. Questi luoghi comuni sono considerati in effetti quasi universalmente il segno di un livello di conversazione o di discussione particolarmente basso.

ALBINISMO

È una disfunzione della pigmentazione per cui le cellule preposte alla formazione dei pigmenti, i *melanociti*, sono pressoché incapaci di adempiere la loro funzione, senza che per altro ci sia una diminuzione del numero delle cellule o un mutamento nella loro disposizione. La retina degli individui albi – siano essi esseri umani o animali – non essendo mascherata dal pigmento nero, appare, di un color rosa vivo, perché è riccamente vascolarizzata. Le cellule sensoriali della retina, in assenza della protezione del pigmento, sono facilmente soggette a danni: questo è il motivo per cui gli albi soffrono spesso di gravi difetti della vista.

L'albinismo – o piuttosto la diluizione del pigmento di cui esso rappresenta la forma estrema – è controllato geneticamente e si riscontra in molti animali domestici, come topi, ratti, porcellini d'India e cavalli, oltre che negli esseri umani. In alcune culture gli albi sono stati considerati con superstizioso timore e i cavalli bianchi sono molto ammirati.

Nei porcellini d'India e nei conigli himalayani designati come albi non è presente un vero e proprio albinismo, ma piuttosto un'estrema diluizione dei pigmenti. Questi animali hanno la bizzarra caratteristica che le loro estremità (le zampe, la punta delle orecchie e il naso) si scuriscono durante la stagione fredda per motivi ancora non chiariti.

I topi e i ratti albinici, essendo molto simili fra loro, inducono spesso a pensare che siano geneticamente uniformi; in realtà l'albinismo può mascherare una diversità genetica che sarebbe altrimenti molto appariscente. È questo un trabocchetto molto noto in cui cadono spesso biologi e psicologi sperimentali alle prime armi. Molti psicologi, ad esempio, hanno spesso creduto erroneamente che i ratti Wistar siano uniformi fra loro nel corredo genetico come lo sono nel colore.

ALLERGIA

Un'allergia è un errato funzionamento dei processi immunologici per cui una reazione avviata per proteggere l'organismo ha invece conseguenze deleterie che vanno, in scala di gravità, dal prurito alla morte.

Le allergie sono svariatissime, e probabilmente non ne conosciamo ancora tutte le manifestazioni né tutti gli agenti che possono provocarle. Moltissime sostanze estranee in grado di accedere a un centro di risposta immunologica *possono* essere allergeni, ossia antigeni che determinano l'instaurarsi di una reazione allergica. Gli antigeni più noti e più fastidiosi sono i pollini che provocano febbre del fieno e asma, le spore fungine che danno origine al polmone dell'agricoltore o malattia di Schaumann, gli escrementi di acari nella polvere delle abitazioni che causano una forma d'asma particolarmente refrattaria alle cure, le sostanze chimiche industriali che provocano dermatiti allergiche, e i molti alimenti antigenici, come l'albume delle uova e i frutti di mare, che causano notoriamente alcuni disturbi gastrici e orticaria.

Altre allergie gravi sono provocate da nuovi farmaci o dai loro veicoli, da sostanze come gli antibiotici e specialmente dai sieri di cavallo che contengono anticorpi contro tossine batteriche, come il siero antidifterico e quello antitetanico. (Qualche cinico ha sostenuto che il siero di cavallo ha ucciso, in conseguenza delle reazioni allergiche che ha provocato, più gente di quanta ne abbia salvata con l'azione terapeutica degli anticorpi di cui è veicolo.) Alla liberazione di istamina da parte di un certo tipo di leucocito durante l'interazione tra antigene e anticorpo si deve la grave forma di malessere fisico nota come *shock anafilattico*; altre analoghe sostanze farmacologicamente attive determinano le allergie

del cosiddetto tipo di Arthus, innescate dall'incontro di antigene e anticorpo nei tessuti. (La malattia di Schaumann è una reazione allergica del tipo di Arthus.)

Una forma di allergia importante teoricamente e utile da un punto di vista medico è la reazione di ipersensibilità ritardata. Questa reazione allergica si dice «ritardata» per distinguerla dai gonfiori e arrossamenti che appaiono quasi subito a seguito di un'iniezione sottocutanea di minuscole quantità di antigeni che provocano allergie del tipo asma/orticaria. Una reazione di ipersensibilità del tipo ritardato è suscitata invece di solito dall'introduzione nel tessuto di antigeni del tipo che provoca un'immunità cellulo-mediata. In capo a un periodo di 5-24 ore il soggetto denuncia gonfiori e arrossamenti, accompagnati da una sensazione di dolore o di prurito; l'esame microscopico rivela inoltre una notevole concentrazione di globuli bianchi (soprattutto linfociti) all'interno del tessuto, in prossimità del punto in cui è stato iniettato l'antigene. La reazione alla tubercolina è un esempio di questo genere; su di essa si fonda il test di Mantoux, nel quale un soggetto che ha o ha avuto un'infezione tubercolare sviluppa una tale reazione allergica locale sulla pelle in conseguenza dell'iniezione di una piccolissima quantità di estratto di bacilli della tubercolosi.

Ma la maggior parte delle allergie non hanno l'utilità del test di Mantoux; al contrario sono fastidiose, nocive, debilitanti. Per il trattamento sintomatico delle allergie si fa ampio ricorso agli antistaminici e agli steroidi corticosurrenali; come sempre, però, è di gran lunga preferibile la profilassi. Purtroppo non sempre è possibile evitare di entrare in contatto con allergeni come il polline, le spore, la polvere domestica e sostanze chimiche sensibilizzanti.

ALLOMETRICO, ACCRESCIMENTO

È ovvio al punto di esser banale che la crescita non è un aumento uniforme, per così dire «simmetrico», e che l'adulto non è semplicemente un bambino ingrandito. Al contrario, gli organismi viventi, crescendo, mutano di forma; e nei limiti in cui l'accrescimento è un processo ordinato e regolare dovremmo attenderci di trovare un qualche rapporto ordinato e forse semplice tra l'accrescimento di una qualsiasi parte del corpo e l'accrescimento di un'altra parte, o di tutto il corpo.

La «legge» allometrica proposta per prima affermava che, nel processo di accrescimento, il rapporto fra il tasso specifico di accrescimento di una certa parte del corpo e quello di un'altra parte è costante. Se si indicano con x e y due diverse parti del corpo e anche le loro dimensioni, i tassi di accrescimento specifici di queste due parti sono rispettivamente $(1/x) (dx/dt) = (d \log_e x)/dt$ e $(1/y) (dy/dt) = (d \log_e y)/dt$; così che il rapporto tra i due risulta essere $(x/y) (dy/dx)$, ossia $(d \log_e y)/(d \log_e x)$. Nella formulazione originale dovuta a Julian Huxley tale rapporto è costante, così che i logaritmi delle due variabili determinano sul piano cartesiano una linea retta secondo l'equazione lineare $\log y = \log b + a \log x$.

Oggi non si ritiene che questa «legge» abbia un valore universale, benché talvolta la si trovi rispettata in modo sorprendente. L'equazione è tale per cui si ha $a=1$ quando x e y crescono in modo rigorosamente proporzionale l'uno all'altro, e che y è maggiore o minore di x a seconda che a sia maggiore o minore dell'unità.

Per una trattazione più generale del problema del mutamento di forma nello sviluppo, si rimanda alla voce TRASFORMAZIONI. Una trattazione più ampia dell'accrescimento si trova nella voce ACCRESCIMENTO BIOLOGICO, LEGGI DELL'.

ALTRUISMO

Un comportamento è altruistico quando reca vantaggio ad altri. Ciò non significa necessariamente che debba implicare anche uno svantaggio per chi lo esegua: questo è un aspetto secondario, che viene messo in particolare evidenza quando si vuol ribadire che un certo comportamento è genuinamente altruistico e non motivato da un egoismo nascosto.

L'altruismo solleva alcuni interessanti problemi nella teoria genetica dell'evoluzione per mezzo della selezione naturale: un processo assolutamente egoistico dipende dal vantaggio riproduttivo netto che un certo gene ha su altri geni suoi concorrenti. Ma come può avere un tale vantaggio un gene che svantaggia il suo possessore? Una risposta, particolarmente cara alla sociobiologia, si fonda sulla cosiddetta *kin selection*, la selezione tramite consanguinei.

Si consideri ad esempio la cura parentale. Per dirla con parole che avrebbe potuto usare Wodehouse, una gallina che si dedica con grande impegno alla cova è particolarmente vulnerabile all'attacco di volpi o altri predatori che le si avvicinino silenziosamente da dietro brandendo una spranga di ferro; come può essere dunque che i geni responsabili di questo e altri comportamenti socialmente vantaggiosi si affermino stabilmente nella specie, come è necessario e auspicabile? La risposta è che un genitore che protegge il suo piccolo protegge al tempo stesso anche quelli fra i suoi geni che sono rappresentati nel suo discendente. J.B.S. Haldane esprime una volta più argutamente questa nozione in una battuta riferita da John Maynard Smith. Haldane disse che era pronto a dare la vita per due fratelli o, a scelta, per otto cugini. I geni fautori di questa forma suprema di comportamento altruistico si diffonderebbero nella popolazione con conseguente vantaggio riproduttivo dei geni del sacrificio, anche nel caso che questi perdesse la vita. È facile, in questa situazione ipotetica o in altre analoghe, quantificare vantaggi e svantaggi; è nondimeno opportuno considerare con estremo scetticismo alcuni casi riferiti di comportamento altruistico. Tra i più famosi possiamo citare la diffusa credenza secondo cui, allo scopo di ridurre il numero della popolazione, e di promuovere quindi il benessere della specie nel suo complesso, i lemming di tanto in tanto si suiciderebbero in massa gettandosi in mare. «Se credete a questo, potete credere a qualsiasi cosa», come il duca di Wellington avrebbe risposto a una signora che gli si era avvicinata dicendo: «Il signor Smith, credo?»

L'importanza teorica della selezione tramite consanguinei consiste nel fornire un certo grado di credibilità alle speculazioni evolutivistiche incorporate nella sociobiologia.

AMMINOACIDI

Gli amminoacidi sono i mattoni o monomeri da cui è costituita la molecola delle proteine. Un amminoacido può essere concepito come un composto ottenuto per sostituzione di un gruppo amminico (NH_2) a un atomo d'idrogeno nella catena di atomi di carbonio di un acido grasso. Sostituendo nell'acido acetico CH_3COOH a un atomo di carbonio un gruppo NH_2 si ottiene l'amminoacido più semplice, la *glicina*: $\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH}$. Un amminoacido (ne

esistono venti tipi diversi) è in realtà acido o basico a seconda che nella molecola predomini il gruppo carbossilico (COOH) o gruppi amminici.

ANABIOSI

Questo termine, ormai obsoleto, si riferisce allo stato di animazione sospesa caratteristico dei tessuti conservati a bassissime temperature.

L'idea di conservare in questo modo interi organismi venne per la prima volta a John Hunter (1728-1793). Nello scritto *On the Heat of Animals*, Hunter descrive i suoi tentativi di congelare due carpe, nella speranza che «si possa prolungare la vita di quanto si voglia congelando una persona... Ho riflettuto che, se un uomo rinunciassse agli ultimi dieci anni della sua vita a favore di quest'alternanza di oblio e di azione, potrebbe ritardare la morte per mille anni; e facendosi scongelare ogni secolo potrebbe apprendere ciò che è avvenuto nel tempo in cui è rimasto congelato. Ho pensato, come altri, che avrei potuto fare la mia fortuna con quest'idea; ma questo esperimento mi ha tolto ogni illusione».*

ANATOMIA COMPARATA

Nella grande era postdarwiniana, quando il principale obiettivo della biologia era quello di dimostrare in modo sempre più convincente e sempre più specifico l'evoluzione, l'anatomia comparata era la disciplina centrale della biologia. Se praticata seriamente, l'anatomia comparata è uno strumento d'indagine preciso e rigoroso il cui impiego richiede grande discernimento e anche un certo fiuto. Da un punto di vista pedagogico l'anatomia comparata ha molte fra le virtù che attribuiamo tradizionalmente agli studi classici; si comprende dunque perché in molte famose facoltà di scienze biologiche essa sia rimasta la materia fondamentale del piano di studi. Si pensi ad esempio al dipartimento di zoologia e anatomia comparata dell'Università di Oxford, da cui sono usciti uno dei massimi genetisti mondiali, un direttore della London School of

* Da *The Works of John Hunter, FRS*, a cura di J.F. Palmer, vol. I, London 1835, p. 284.

Economics e un ex direttore generale dell'UNESCO, cosa che dimostra che lo studio dell'anatomia comparata può sviluppare l'intelligenza non meno di altri. Gli autori di questo libro sono orgogliosi di essere usciti da tale scuola.

Fra i trionfi dell'anatomia comparata va annoverato un esempio sorprendente del concetto di omologia. Gli studiosi di anatomia comparata furono i primi a dimostrare che gli animali fra loro diversissimi, raggruppati nel gruppo degli «ungulati», camminano tutti sulla punta delle dita: di qui il termine tassonomico. Il ginocchio del cavallo corrisponde, anatomicamente, al polso o alla caviglia: il cavallo cammina appoggiandosi a un unico dito, il terzo, corrispondente al nostro medio (il secondo e quarto dito sono ridotti a «fibule»). Gli artiodattili, come ad esempio la pecora e la mucca, camminano sul terzo e quarto dito; del primo e del quinto non restano che tracce rudimentali.

Un'altra scoperta interessante e sorprendente di anatomia comparata è che gli ossicini dell'orecchio, che trasmettono le vibrazioni del timpano all'organo dell'udito, facevano parte in origine della mascella e mutarono destinazione quando la mandibola dei mammiferi si ridusse a un osso unico, il dentale. Inoltre, i muscoli che muovono il globo oculare derivano, nell'evoluzione e nello sviluppo, dalle tre masserelle muscolari striate anteriori, che un tempo correvano per tutta la lunghezza del corpo dei vertebrati. In questo modo l'anatomia comparata ha dato un senso, con l'aiuto dell'evoluzione, alla varietà di strutture che si riscontrano tra i vertebrati.

ANELLI MANCANTI

Se i rettili si sono evoluti da un lato in uccelli e dall'altro in mammiferi, dovrebbero esistere (o essere esistiti) animali intermedi fra queste due classi di vertebrati, rappresentanti (per lo più attraverso loro esponenti moderni) un ponte di connessione fra le due classi. Questi animali vengono volgarmente ma efficacemente designati come anelli mancanti, anche dopo essere stati trovati. Un esempio è l'*Archæopteryx*; fra gli altri sono i monotremi, che comprendono l'ornitorinco e l'echidna. Il concetto di anelli mancanti è sempre stato accettato come ovvio da coloro che danno per scontata la nozione platonica di una grande catena dell'essere.

ANENCEFALIA

Questa considerevole riduzione in volume degli emisferi cerebrali si accompagna così spesso alla malformazione nota come spina bifida che spesso vengono raggruppate in un'unica sindrome, l'ASB (anencefalia/spina bifida). L'ASB è un'anomalia dello sviluppo a cui sono particolarmente vulnerabili le strutture dell'asse embrionale. Essa non è una malattia ereditaria nel senso comune del termine, ma per ragioni ignote, forse di ordine immunologico, si riscontra con maggior frequenza nei feti di donne che hanno già avuto aborti spontanei. Un embriologo ha avanzato l'ipotesi che la maggior frequenza dell'ASB nei paesi di religione cattolica possa attribuirsi alla maggiore diffusione di metodi di controllo della fecondità fondati sul ritmo mestruale; questi metodi, che tendono a condurre a una fecondazione tardiva, comportano per l'ovulo un periodo di attesa anormalmente lungo prima della fecondazione. L'incidenza della sindrome ASB varia notevolmente da luogo a luogo e da popolazione a popolazione, con punte particolarmente alte nell'Irlanda del Nord e con frequenza piuttosto piccola nell'Africa a sud del Sahara, anche se gli epidemiologi sono sempre molto cauti verso comparazioni di questo genere perché l'attendibilità della rilevazione statistica varia considerevolmente da un luogo all'altro. Le anomalie congenite non offrono comunque alcun conforto ai razzisti, in quanto se alcune sono più frequenti fra i neri che in popolazioni bianche comparabili, per altre vale l'inverso.

Benché il senso comune suggerisca che all'anencefalia debba accompagnarsi una grave diminuzione delle capacità mentali, ci sono indicazioni crescenti del fatto che gli anencefalici posseggono capacità intellettuali che normalmente si ritengono esclusive degli emisferi cerebrali. Non si devono sottovalutare le facoltà del mesencefalo né la plasticità funzionale del cervello.

ANFIOSSO

Quest'animale famoso in zoologia, appartenente al genere *Branchiostoma* (lancetta), deve la sua importanza al fatto di essere il rappresentante moderno del *subphylum* dei cefalocordati, da cui discendono sicuramente i vertebrati. L'anfiosso, che mostra in

forma pressoché paradigmatica tutti i caratteri essenziali del gruppo dei cordati, è un organismo lungo quattro o cinque centimetri che, come un'automobile moderna, è affusolato a entrambe le estremità (in greco *oxys* significa acuto, acuminato).

L'anfiosso sa nuotare ma preferisce vivere nelle acque basse del mare, su fondali di sabbia o di ghiaia. Come i tunicati suoi antenati, si nutre di minuscole particelle alimentari sospese nell'acqua, che filtra facendola passare dalla bocca nell'ampia faringe, l'anticamera dell'intestino. La faringe presenta numerose fessure dalle quali l'acqua marina esce, mentre le particelle solide rimangono attaccate alle pareti della faringe stessa, rese appiccicose dal muco secreto dall'*endostilo*, tipica formazione a doccia sulla faccia ventrale della faringe, che precorre la tiroide presente nei vertebrati. La presenza di un'ampia faringe branchiale munita di fessure, nonché l'alimentazione per filtraggio, sono tipiche dei cordati.

Altro carattere tipico dei cordati è la *notocorda*, sorta di spina dorsale elastica lunga quanto tutto il corpo. La muscolatura consiste di masserelle muscolari striate disposte lungo tutta la lunghezza del corpo. Mancano arti di qualsiasi genere. Il sistema nervoso centrale è quello solito dei cordati: un tubo dorsale mediano raccoglie le fibre motorie che comandano le masserelle muscolari e riceve le fibre sensoriali che passano fra le masse muscolari dirette verso un ganglio cerebrale. Il sistema circolatorio, altrettanto tipico, è un grosso vaso a parete contrattile situato in posizione ventrale mediana, che pompa il sangue ai tessuti della faringe tra una fessura branchiale e l'altra, dove la circolazione è coadiuvata da piccoli cuori «branchiali» secondari.

Del tutto diverso da quello dei cordati è invece il sistema escretore che, con sorpresa degli anatomisti, è costituito da piccoli raggruppamenti di cellule escrettrici, le cellule a fiamma o selenociti, quali si trovano in vari invertebrati. A parte quest'unica differenza dal canone dei cordati, l'anfiosso corrisponde così esattamente ai caratteri che ci attenderemmo in un organismo progenitore dei vertebrati che se ne sarebbe potuta ipotizzare l'esistenza (attuale o passata) anche se non fosse stato scoperto e riconosciuto.

Ma, oltre ai vertebrati, parenti ricchi, l'anfiosso ha anche dei parenti poveri, come attestano non solo la faringe e l'alimentazione per filtraggio, ma anche il fatto che i primi stadi di sviluppo

dell'anfiosso sono praticamente identici a quelli delle ascidie. C'è anche un'altra affinità: la larva dell'anfiosso è stranamente asimmetrica, e la bocca ellittica ha origine su un lato dell'estremo anteriore del corpo e migra nella sua posizione definitiva solo in virtù di un complesso movimento rotatorio dell'intero cestello branchiale rispetto alla notocorda e ai segmenti muscolari. Si è ipotizzato che questo movimento rotatorio sia omologo alla rotazione della faringe nelle ascidie allo stadio embrionale, una strana metamorfosi che precede la fissazione al substrato e in virtù della quale la bocca e l'ano vengono ad assumere la posizione definitiva che si riscontra nello stadio adulto.

ANIMALI E OBBLIGHI UMANI

Nella Bibbia non si fa uso della parola «animale»; tuttavia i comandamenti di Yahweh relativamente al rapporto tra uomo e bestia sono abbastanza chiari. All'uomo compete il dominio «sui pesci del mare e sugli uccelli del cielo e sul bestiame e su tutta la terra, e su tutti i rettili che strisciano sulla terra» (*Genesi*, 1,26). Poco più avanti si assicura all'uomo il dominio «sui pesci del mare e sugli uccelli del cielo e sopra ogni animale che si muove sulla terra» (*Gen.*, 1,28). Le piante si collocano ai gradini più bassi della gerarchia, perché a tutti gli animali summenzionati «io do ogni erba verde per nutrimento» (*Gen.*, 1,30).

La misericordia divina non incoraggiò la compassione per gli animali né favorì alcun tentativo di considerarli creature animate. Indifferenza comprensibile, dato che contadini che conducevano un'esistenza molto dura difficilmente potevano pensare che le bestie stessero molto peggio di loro.

Il mutato atteggiamento verso gli animali può essere considerato un tardo prodotto secondario del Romanticismo: fra i segni di tale mutato atteggiamento sono forse la fondazione, avvenuta in Inghilterra nel 1824, di una Società per la prevenzione della crudeltà verso gli animali, o anche la pubblicazione nel 1877, dell'«autobiografia» di un cavallo, scritta abilmente e divenuta famosa: *Black Beauty* di Anna Sewell. La successiva diffusione dell'alfabetismo incoraggiò la proliferazione di una letteratura per la prima infanzia in cui conigli, gatti, volpi, leoni, tigri, elefanti e orsi erano personaggi tutti dotati di parola.

Che gli animali parlino sembra ai bambini cosa del tutto naturale. Una volta portammo Louise, la nostra figlia più piccola, che aveva allora cinque anni, allo zoo, dove vide un grande pappagallo nella sua gabbia di rete metallica, parecchio più in alto di lei. «Ciao!» lo salutò cortesemente Louise, che era una bambina bene educata. Il pappagallo scese lentamente dall'alto della gabbia, una zampa dopo l'altra, e aiutandosi anche col becco, fin quando non fu all'altezza degli occhi della bambina. Poi spinse in avanti la testa, disse: «'ao!» e se ne tornò lentamente in cima alla gabbia lasciando Louise entusiasta per aver parlato con un pappagallo.

La nostra moderna preoccupazione per il benessere degli animali pare abbia avuto origine nel clima di maggiore sensibilità diffusi dopo la seconda guerra mondiale. Un altro fattore va visto forse nella letteratura di propaganda e di persuasione di quegli anni, che si sforzava di far acquisire agli esseri umani una maggiore consapevolezza dei doveri connessi al loro ruolo di custodi della natura vivente. Tale consapevolezza si è utilmente manifestata nella creazione di riserve di caccia e di parchi naturali.

Ad essa si è accompagnato inoltre un movimento fortemente critico verso varie pratiche, moralmente discutibili anche se socialmente accettate, che possono arrecare gravi danni agli animali senza che ne esistano motivi giustificati.

La prima di queste pratiche è la sperimentazione sugli animali, la quale è giustificata solo dai benefici che apporta agli esseri umani. Coloro che amano gli animali al punto da incoraggiare un'indifferenza per gli uomini che sconfina nella misantropia sono fautori di un bando totale alla sperimentazione sugli animali. Ma costoro minano la loro propria causa, e perdono la fiducia dell'opinione pubblica, sostenendo – cosa palesemente infondata – che la sperimentazione sugli animali non ha portato alcun beneficio all'umanità. È questo un caso di bispensiero, per prendere a prestito un termine di Orwell, reso possibile solo dall'attribuire più importanza ai rarissimi casi di encefalite causata dal vaccino contro la pertosse che non ai benefici infinitamente maggiori apportati all'umanità dall'insulina, dalla penicillina, dal vaccino antipolio e dalla chirurgia dei trapianti. È un peccato che gli zoofili adottino questo atteggiamento, poiché esso indebolisce o forse distrugge addirittura le condizioni per regolamentare con leggi appropriate la sperimentazione sugli animali.

Se Samuel Johnson visse ai nostri giorni ammetterebbe senz'altro la sperimentazione di farmaci sugli animali, ma condannerebbe mordacemente l'uso di animali per sperimentare cosmetici o prodotti di bellezza. Non c'è viso, direbbe il dottor Johnson, così bello da giustificare le sofferenze inflitte a un animale. Egli sosterebbe inoltre senza dubbio l'opportunità – come fa oggi la giurisprudenza inglese – che la sperimentazione sugli animali venisse consentita solo a persone di provata competenza tecnica, facendo giudicare la preparazione degli sperimentatori e le finalità della sperimentazione da un comitato di giudici imparziali. Non si dovrebbero mai eseguire esperimenti aventi l'unico scopo di soddisfare la curiosità o di arricchire il patrimonio delle conoscenze umane. La sperimentazione deve avere sempre uno scopo medico o scientifico specifico e dichiarato, tale da rendere possibile o da facilitare la realizzazione di importanti finalità mediche. L'attività di sperimentazione va quindi deputata a sperimentatori abilitati, la cui attività va tenuta sotto continuo controllo, anche con ispezioni senza preavviso nei loro laboratori. Ciò presuppone, ovviamente, un apparato burocratico abbastanza grande, abbastanza forte e abbastanza bene informato per poter esercitare un'azione veramente incisiva.

Queste richieste sono soddisfatte dalle leggi e dai regolamenti attualmente in vigore in Gran Bretagna. La sperimentazione sugli animali è regolamentata nella maggior parte dei paesi dell'Europa settentrionale.* Gli Stati Uniti, in cui è oggi diffusa una certa insoddisfazione verso le interferenze governative, tanto più quando sono messe in atto da un meccanismo burocratico sostanzialmente restrittivo, sembrano essere relativamente arretrati in questo campo: cosa imprevedibile in un paese che è stato così spesso all'avanguardia nella legislazione per il bene pubblico.

Anche se il controllo della sperimentazione sugli animali può sembrare un'altra delle tante intrusioni dei pubblici poteri nella vita privata di cittadini rispettabili, nessuno sperimentatore competente e umano dovrebbe avere alcuna ragione di opporsi alla regolamentazione e supervisione della sua attività, e nemmeno a ispezioni senza preavviso. È vero che l'attività di ricerca risulterebbe

* Vedi *New Perspectives in Animal Experimentation*, a cura di David Sperlinger, New York 1981.

gravemente intralciata se ogni esperimento (come l'iniezione di penicillina a un topo) dovesse essere specificamente autorizzato da autorità ecclesiastiche o statali (come ben sappiamo, infatti, la burocrazia tende sempre ad accrescersi e a proliferare ben oltre il livello necessario per espletare ragionevolmente bene i suoi compiti). Va detto, comunque, che i funzionari degli enti preposti al controllo della sperimentazione su animali (che per la maggior parte lavorano con coscienza e celerità) sono anche in grado di dare consigli utili.

Una volta ottenuto il permesso ufficiale, lo sperimentatore dovrebbe, per cominciare, tentare di rispettare le condizioni enunciate da W.M.S. Russell e R.L. Burch in *The Principles of Humane Experimental Technique* (London 1959): riduzione del numero di animali usati, perfezionamento delle procedure sperimentali e sostituzione di sistemi viventi con sistemi inanimati come colture di tessuti.

Gli sport venatori sono un'altra pratica socialmente accettata che reca gravi danni agli animali inferiori all'uomo. Uccidere animali per divertimento è pratica talmente antica, e così strettamente collegata a una certa concezione della virilità, che molti la ritengono perfettamente normale e lecita, persino quando qualche ricco turista, dotato di mezzi modernissimi, per combattere la noia si diverte ad assassinare, al largo della Florida, uno squalo o qualche altro splendido animale marino.

Sarebbe di giovamento sia al cacciatore sia alla preda se i cacciatori tenessero a mente che l'uso di uccidere animali per divertimento può finire col rendere grossolano l'aspetto, il linguaggio e il comportamento. E non sorprende che Oscar Wilde in *A Woman of no Importance* (1893) definisse il «gentiluomo di campagna inglese che galoppa all'inseguimento della volpe» «l'indicibile che corre dietro all'immangiabile».

Non ci si rende conto in generale che fra i maggiori responsabili di crudeltà verso gli animali – e nella fattispecie verso i cani – sono proprio coloro che si definiscono amici degli animali. Pensiamo ad esempio alla pratica, oggi in estinzione per merito della veterinaria, di allevare cani all'unico scopo di rafforzare quei caratteri che trovano un maggiore apprezzamento alle mostre canine. Alcuni di tali caratteri sono vere e proprie anomalie. Si pensi, ad esempio, alle pieghe profonde del muso del bulldog, così predi-

sposte alle dermatiti. Le difficoltà respiratorie tipiche di questa razza sono dovute a una malformazione scheletrica del cranio che fa pensare all'anormalità, dovuta a una mutazione, nota come acondroplasia; la coda a riccio, così apprezzata dagli amatori, è un'anormalità nello sviluppo della colonna vertebrale. Si aggiunga inoltre il portamento particolarmente «elegante» di certe razze, dovuto a una lussazione congenita dell'anca. Alcuni cani si allevano inoltre solo perché l'abbondante pelame che cresce sul cranio dà loro un aspetto simpatico e buffo, anche se causa loro una irritazione cronica del globo oculare. Altri cani ancora hanno il pelo così fitto da impedirne il normale raffreddamento corporeo quando fa caldo, cosicché questi animali soffrono quando la temperatura è elevata. La British Small Animals Veterinary Association classifica tutte queste condizioni come atrocità e dichiara che allevatori e giudici di mostre canine commettono un grave errore favorendo la perpetuazione di tali abusi. Alla radice di questi eccessi c'è la vanità, la quale è anche all'origine dell'allevamento di cani come giocattoli: quegli animaletti in miniatura, ad esempio, che stanno in una tasca o in una borsetta. Molti fra coloro che tollerano, o addirittura approvano, questi abusi, si arrogano il titolo di cinofili, e sono fra quelli che con maggior clamore levano la voce a denunciare l'uso di animali nella ricerca medica.

Un'altra forma di abuso verso gli animali sta suscitando oggi forti deplorazioni: il trattamento di animali alla stregua di prodotti industriali, o semplicemente di macchine per convertire vegetali in carne, come avviene nel caso dei polli allevati in batteria e di altri animali suscettibili di allevamento meccanizzato. Anche se non possiamo supporre che gli animali così trattati abbiano la delicata sensibilità di un Wordsworth o di un Coleridge, né che si struggano per la mancanza del sole e dell'aperta campagna, è innegabile che questo modo di procedere è un'offesa al nostro senso del giusto ordine delle cose, e segna in qualche misura una degradazione morale dell'uomo. Ma l'allevamento in batteria non scomparirà se non quando verrà dichiarato formalmente un reato, dato che questo tipo di produzione ci fornisce abbondanti proteine nobili a un costo relativamente basso. Quest'attività ha acquistato inoltre, presso le persone che si considerano realistiche, quell'attrattiva vistosa che hanno tutte le iniziative che si dimo-

strano vantaggiose da un punto di vista commerciale, anche se il profitto che se ne ricava è stato assicurato dall'impiego di mezzi discutibili.

L'aggressività dell'uomo nei confronti di altre specie ha conseguito un fosco record: si ritiene che negli ultimi trecento anni si siano estinte per colpa dell'uomo circa trecento specie, tra cui possiamo citare il piccione migratore *Ectopistes migratorius*, l'affabile dugongo di Steller o dugongo gigante e il lupo della Tasmania. Anche gli abitanti umani della Tasmania sono stati sterminati (l'ultimo aborigeno morì nel 1876). Jared M. Diamond, dell'Università di California, ci ha però messi in guardia dall'accettare troppo acriticamente il mito secondo cui ciò sarebbe avvenuto essenzialmente per colpa della civiltà meccanizzata dell'Occidente, mentre i cacciatori-raccoglitori sarebbero sempre stati conservatori sagaci e prudenti della natura, di cui un ecologo moderno potrebbe esser fiero.

Il fatto che i nostri antenati abbiano peccato non giustifica certo le immense devastazioni, prodotte sotto la spinta dell'interesse economico, dai cacciatori moderni, la cui attività sta conducendo rapidamente allo sterminio delle balene, malgrado gli sforzi di appositi enti delle Nazioni Unite. È triste dover riconoscere che i politici hanno accettato senza protestare l'idea che il vantaggio economico giustifichi quasi tutto, anche le peggiori atrocità; e che coloro che protestano ed esprimono attivamente la loro preoccupazione per la sorte degli animali vengano accusati di essere degli eccentrici sentimentali.

Cosa si può fare? I bei discorsi non bastano, come non basta auspicare che la specie umana su scala mondiale diventi più sensibile e attenta agli interessi del mondo animale e vegetale. Ciò di cui c'è bisogno è la disponibilità a cercare di adottare un giusto comportamento nelle situazioni in cui ci troviamo a operare. È chiaro che si può rimediare agli abusi ricordati sopra solo per mezzo di una legislazione appropriata. Tutto quel che si chiede alla sensibilità umana è di prendere il problema abbastanza sul serio perché esso possa assumere un peso politico. Nulla stimola l'attività legislativa quanto la convinzione che sia possibile trarne un qualche vantaggio politico. Purtroppo gli animali, oltre essere privi di diritti civili, non hanno in generale nemmeno un'influenza politica.

ANTIBIOTICI

Fortunatamente per il genere umano, non esiste una convenzione di Ginevra che vieti la guerra batteriologica ai batteri; in caso contrario non avremmo gli antibiotici (gli antibiotici sono sostanze, prodotte da taluni microrganismi, capaci di distruggerne altri o di arrestarne la crescita). Benché la funzione degli antibiotici in natura non sia ancora del tutto chiara, possiamo supporre ragionevolmente che essi siano i principali strumenti di lotta fra microrganismi nell'ambiente densamente affollato del suolo (i batteri che vivono nel suolo sono infatti fra le fonti principali di antibiotici).

L'utilità terapeutica degli antibiotici dipende dal fatto che, a livello dell'acido nucleico, i processi dell'eredità e del trasferimento di informazione genetica sono gli stessi sia per i microrganismi sia per gli animali più complessi. Poiché tali processi sono particolarmente vulnerabili agli antibiotici, questi possono essere usati con successo per uccidere i batteri o per impedirne la crescita *in vivo*, a patto che, ovviamente, ciò non comporti anche l'avvelenamento dell'organismo superiore soggetto alla terapia.

La scoperta delle penicilline, unitamente alla precedente scoperta a opera di Gerhard Domagk dell'azione battericida dei sulfamidici, rappresenta il progresso più significativo compiuto dalla scienza medica nel XX secolo. Essa ha messo fine alla tirannia dei microrganismi sull'uomo, che ha rappresentato la principale forza selettiva agente sulla specie umana dall'inizio della sua evoluzione.

È ben noto che la penicillina fu scoperta per caso da Alexander Fleming. Essendo il prodotto di una muffa, il *Penicillium notatum*, si disperde per mezzo di spore trasportate dal vento. Meno noto è il fatto che Fleming, già funzionario del British Medical Research Council, impegnato durante la prima guerra mondiale nella ricerca di un metodo per evitare le infezioni delle ferite di guerra, cercava già da parecchi anni la penicillina o qualcosa di molto simile: ossia una sostanza antibatterica non tossica, che danneggiasse cioè più i batteri che non l'organismo da essi infettato. Le numerose leggende che avvolgono la scoperta della penicillina (per esempio quella della spora che sarebbe entrata casualmente dalla finestra finendo su un terreno di coltura già preparato, causando la formazione di un alone di inibizione della crescita

batterica) nascono proprio dal fatto che non ci si è resi sufficientemente conto dell'importante motivazione psicologica di Fleming. La propagazione di questa leggenda ha distratto l'attenzione da un altro e più sorprendente colpo di fortuna: e cioè che la penicillina risultò essere non tossica. Dal tempo di Fleming abbiamo imparato infatti che gli antibiotici come classe sono altamente tossici: il danno che arrecano ai batteri, lo arrecano anche agli organismi da loro infettati. La penicillina deve la sua relativa non-tossicità al fatto che il metabolismo batterico con cui interferisce è peculiare ai batteri, essendo relativamente specifico ai processi implicati nella sintesi della parete cellulare, cosa che ne diminuisce enormemente la tossicità per animali superiori.

Ma la scoperta della penicillina e la sua estrazione da colture in quantità abbastanza grandi da permetterne la sperimentazione su topi fu solo l'inizio di questa storia. Il laboratorio di Howard Florey, dove gli autori di queste pagine hanno compiuto i loro studi universitari, era un tipico laboratorio universitario con finanziamenti scarsi e apparecchiature superate: non era dunque assolutamente in grado di produrre penicillina in quantitativi tali da permetterne la sperimentazione clinica. Benché qualche azienda farmaceutica inglese affrontasse il compito di produrre penicillina su scala industriale, la penicillina poté essere prodotta in quantità adeguate solo quando vi si dedicarono gli americani, che potevano contare su considerevoli capitali e conoscenze tecniche. Florey e i suoi collaboratori, quando si recarono in America, riferirono apertamente le conoscenze che avevano acquisito sull'estrazione della penicillina su piccola scala. Le aziende americane con cui essi erano venuti in contatto brevettarono i procedimenti, e quando le aziende inglesi riuscirono a loro volta a dare il via alla produzione industriale dovettero pagare diritti alle aziende americane per poterlo fare. Così la storia raccontata da R.G. Macfarlane, il biografo di Florey, in *Howard Florey: The Making of a Great Scientist* (Oxford 1979), è una storia piuttosto disonorevole, che getta una luce sfavorevole sul capitalismo. Ma, quale che sia la morale di questa storia, i capitali e la tecnologia americana riuscirono a raggiungere l'obiettivo importante di produrre quantità di penicillina clinicamente adeguate proprio nel momento in cui il bisogno di questo farmaco era più che mai urgente.

Da quei tempi la penicillina è stata molto migliorata. Sono stati

scoperti molti nuovi antibiotici, che costituiscono un imponente arsenale. Persino alcuni antibiotici di elevata tossicità hanno un loro uso, per esempio nella cura del cancro.

Gli antibiotici di origine batterica e fungina non sono efficaci, in generale, contro i virus. L'INTERFERON, di cui ci occupiamo in un'altra voce, è attivo contro i virus, e non è un antibiotico nel senso in cui abbiamo usato il termine in questa voce.

ANTICOLINESTERASICI

Lo stimolo nervoso che causa la contrazione di un muscolo striato esercita la sua azione attraverso la mediazione dell'acetilcolina, la quale agisce su uno speciale recettore nel muscolo e va eliminata subito dopo la contrazione per consentire al muscolo di contrarsi nuovamente. A ciò provvede un enzima: la colinesterasi. Un anticolinesterasico è una sostanza che annulla l'azione dell'enzima che rimuove l'acetilcolina; questa, accumulandosi nell'organismo, conduce naturalmente a un blocco neuromuscolare. Gli anticolinesterasici più noti sono d'origine naturale: la fisostigmina (o eserina) e la neostigmina, sostanza da questa derivata. Grazie alla natura della loro azione, che fra l'altro potenzia gli effetti dell'acetilcolina alle giunzioni neuromuscolari, gli anticolinesterasici apportano un certo giovamento nei casi di miastenia grave e riescono in qualche misura ad annullare l'effetto paralizzante prodotto da sostanze come il curaro.

ANTIGENI E ANTICORPI

Un antigene è una sostanza che attiva una risposta immunologica – di solito si tratta di vera e propria immunità, nei quali casi l'antigene si chiama *immunogeno*, ma a volte di semplice tolleranza. L'aggettivo «antigenico» è più accettabile del sostantivo «antigene», che certe volte indica il veicolo dell'antigene vero e proprio. La parola è usata, in senso lato, anche in riferimento a qualsiasi sostanza venga riconosciuta immunologicamente (ossia attraverso le sue proprietà antigeniche) anche se la sostanza non è usata o studiata come antigene.

Quando solo una parte di una molecola è antigenica, tale parte viene chiamata *epitopo* o *gruppo determinante*. Se il gruppo de-

terminante è una molecola, viene detto *aptene*, sottintendendo spesso che un aptene non è antigenico se non quando sia unito a una molecola più grande o quando venga somministrato insieme a un'altra sostanza che lo renda antigenico.

Abbiamo così definito l'«antigene» da un punto di vista operativo. Ma la ricerca di un sostantivo che definisca una proprietà è complicata dal fatto che moltissime molecole, di ogni tipo, forma e grandezza, possono essere antigeniche. Normalmente basta dire che il carattere essenziale importante di un antigene è di essere una sostanza estranea all'organismo – o che è diventata tale in seguito al tipo di alterazione di cui si tratta nella voce IMMUNITÀ.

Un *anticorpo* è invece una proteina del sangue modificata, attivata dall'introduzione nell'organismo di una sostanza antigenica; esso reagisce in modo specifico all'antigene o alla parte di esso che ha suscitato la risposta immunologica. Questa reazione tra anticorpo e gruppo determinante è estremamente specifica: gli anticorpi possiedono infatti una capacità di risoluzione – la capacità di distinguere una configurazione molecolare dall'altra – insuperata fra tutte le sostanze biologiche. Questa specificità degli anticorpi è così ben attestata che conclusioni fondate su di essa, come l'identificazione di macchie di sangue a opera della polizia scientifica, o l'appartenenza a un gruppo sanguigno, sono accettate oggi senza eccezioni come prove anche in tribunale. Sono gli anticorpi a far scattare l'immunità cosiddetta umorale, specialmente l'immunità antivirale e certe forme di allergia e di sensibilizzazione.

La capacità di produrre anticorpi è notoriamente essenziale per la vita: quando essa manca totalmente si ha infatti l'*agammaglobulinemia*, una rara anormalità congenita associata a un'incapacità costituzionale di produrre proteine del sangue della classe cui appartengono gli anticorpi. Questa malattia fu sempre fatale fino all'avvento della tecnica dell'elettroforesi, che rese possibile il riconoscimento di queste proteine e quindi lo stato patologico determinato dalla loro assenza. Chi è affetto da agammaglobulinemia può sopravvivere solo sotto lo scudo degli antibiotici.

ARCHÆOPTERIX

È questo forse il più famoso dei cosiddetti anelli mancanti: l'*Archæopterix* collega i rettili con gli uccelli così come l'ornito-

rinco e gli altri monotremi fanno da collegamento tra rettili e mammiferi.

L'*Archæopterix*, che possedeva piume ed era probabilmente un animale omeotermo, può essere considerato il primo uccello, essendo comparso sulla Terra circa 150 milioni di anni fa. Possedendo però denti in entrambe le mascelle era così simile a un piccolo dinosauro bipede che sarebbe stato sicuramente classificato come tale senza esitazione se non fosse stato per le impronte fossili lasciate dalle piume. La carena (quell'osso dello sterno in cui negli uccelli moderni s'inseriscono i muscoli pettorali dell'ala) non è molto sviluppata: se ne deduce che l'*Archæopterix* non fosse tanto un volatore ad ali battenti ma piuttosto una sorta di alante.

L'*Archæopterix* non fu l'unico rettile ad avventurarsi in aria: fra gli altri furono i pterosauri (fra cui il famoso pterodattilo); ma le modificazioni evolutive del genere *Archæopterix* ebbero un chiaro successo. Non molto più di una cinquantina di milioni di anni dopo ebbero origine uccelli con tratti moderni, riconducibili a ordini esistenti oggi.

ARISTOTELE

«Aristotele fu un “uomo di scienza” nel senso moderno del termine. Raccolse e osservò una varietà enorme di fatti... gran parte della sua opera è considerata ancor'oggi con rispetto dagli scienziati che si prendono la pena di studiarla.» Queste parole dell'umanista Goldsworthy Lowes Dickinson denunciano un'incomprensione pressoché totale della natura della scienza nonché dell'influenza esercitata da Aristotele sulla scienza in senso moderno. Uno scienziato non è un uomo che raduna e classifica fatti, non più di quanto uno storico sia un uomo che compila e classifica una cronologia delle date di grandi battaglie, scoperte importanti e via dicendo.

Inoltre, benché le opinioni filosofiche di Aristotele – per esempio sulla teleologia – siano degne di una rispettosa attenzione, i pionieri o i portavoce della nuova scienza del Seicento (uomini come Robert Boyle, autore del *Chimico scettico*, il reverendo dottor Joseph Glanvill, Francesco Bacone il Lord Cancelliere d'Inghilterra e il poeta Abraham Cowley) respinsero l'autorità dottrinale di Aristotele con tediata esasperazione. Nessuno fece più di Baco-

ne per metter fine alla tirannide dottrinale di Aristotele; Cowley scrisse della «perniciosa opinione che tutte le cose che si devono cercare in natura sarebbero già state trovate e scoperte dagli antichi»; ed Henry Power, se da un lato dichiarava che la nuova scienza stava avanzando con la forza di una «marea sizigiale», dall'altra auspicava che «si buttassero via tutte quelle vecchie cianfrusaglie».

Bacone pensava alle parole di Aristotele quando disse che non le parole, ma le *opere* dovevano portare il messaggio della nuova scienza; e sempre ad Aristotele pensavano i fondatori della più antica e famosa associazione scientifica del mondo, la Royal Society, quando adottarono come motto un'espressione oraziana: *Nulius in verba* – non fidarsi della parola di nessuno.

Passando ora alle opere biologiche di Aristotele, dalla *Historia animalium* apprendiamo che pesci e uccelli si suddividono in molte specie diverse; che taluni animali vivono in mare e altri sulla terra; che certi sono mobili e altri immobili; che api e uccelli hanno ali e altri animali zampe. Inoltre alcuni animali sono domestici e altri selvatici; certi sono domestici sempre, come l'uomo e il mulo; altri selvatici sempre, come il leopardo e il lupo; certuni possono essere resi domestici con facilità, come l'elefante. Alcuni animali emettono suoni, altri sono muti. Su queste affermazioni non c'è niente da obiettare, ma altrove hanno il sopravvento voci e dicerie: così alcuni uccelli sarebbero particolarmente «lascivi», tra cui la pernice, il gallo e i loro congeneri; altri più inclini alla castità, come l'intera tribù dei corvi, poiché gli uccelli di tal sorta «indulgono solo raramente al rapporto sessuale». Alcuni animali sono miti, altri feroci, altri ancora vili e infidi; tra tutti il più nobile è il leone.

Le opere biologiche di Aristotele sono una strana farragine, per lo più alquanto noiosa, di voci incontrollate, di osservazioni imprecise, di convinzioni preconcepite e di ingenuità così esagerate da far pensare a vera e propria dabbenaggine. In base a quali prove sperimentali Aristotele può essersi convinto che il seme dei giovani tra la pubertà e l'età di ventun anni è «privo di forza fecondatrice», per cui dall'unione tra persone giovani nascerebbe una prole imperfetta e di piccola statura? Il prollasso uterino nonché la comparsa delle mestruazioni fino a tre volte in un mese vengono considerati sintomi di «eccessivo desiderio sessuale».

È difficile non solidarizzare con i nuovi scienziati del Seicento che si rifiutarono di riconoscere l'autorità dottrinale di tali idee. Possiamo forse farci un'idea dell'origine di opinioni così bizzarre leggendo l'*Apologie for Poetry* di Sir Philip Sidney (1598). Sidney deplora che lo storico sia schiavo dell'empirico e del particolare, dichiarando che «il nudo *fu*» dello storico, come egli lo definisce con disprezzo, non potrebbe avere mai la forza della verità poetica; giacché nella concezione di Aristotele la verità poetica era una rivelazione dell'ideale: di ciò che *dovrebbe essere*. Per Aristotele la poesia era più filosofica e più elevata della storia. La poesia poteva rivelare ciò che dovrebbe essere alla luce delle vere intenzioni della Natura.

Possono esserci pochi dubbi sul fatto che Aristotele accomunasse la scienza alla storia in questo giudizio negativo, cosa che ci dà una chiave per comprendere alcune delle sue opinioni più stranamente erranee. Aristotele credeva fermamente, per esempio, nella regola ebdomadica, ossia che tutte le cose andassero in gruppi di sette. Sette sono le età dell'uomo, ognuna delle quali dura sette anni, cosicché chiunque abbia una vera comprensione della natura può rendersi conto da sé che il seme umano dev'essere sterile tra i quattordici e i ventun anni, perché in caso contrario la regola ebdomadica sarebbe violata. Ecco come, dunque, ciò che dovrebbe essere diventa ciò che è. Certe volte, naturalmente, Aristotele è nel giusto: tanto voluminosa ed estesa è la sua opera che egli non può sbagliare sempre (ma vengono alla mente irriverenti immagini di scimmie alla macchina per scrivere). Così per esempio Aristotele afferma recisamente che il seme degli etiopi non è nero, e deride Erodoto per aver pensato una cosa del genere.

Non crediamo che chi decida di non leggere le opere biologiche di Aristotele rischi un impoverimento spirituale. In Aristotele non troviamo infatti mai i pensieri ispirati di un Samuel Taylor Coleridge, il cui libro *Hints Towards the Formation of a More Comprehensive Theory of Life* (London 1848) può essere letto ancor oggi con piacere e profitto da chiunque abbia un minimo di familiarità con lo stato delle scienze biologiche nell'epoca in cui l'autore scriveva.

ARTROPODI

Essendo i più vari e i più numerosi fra tutti gli animali, gli artropodi, giudicati sulla base di questo criterio, sono gli esseri che hanno avuto maggior successo in tutto il regno animale. Le classi più importanti sono gli insetti e i crostacei, che si sono adattati a tutti gli ambienti. Le zampe e le altre appendici articolate, e invero tutto quanto il corpo, dai quali il *phylum* trae la sua denominazione, sono condizionati dalla presenza di un esoscheletro rigido composto principalmente di *chitina*: una sostanza flessibile ma praticamente indigeribile, lontana parente della cellulosa. La chitina forma l'involucro esterno dell'intero corpo. L'accrescimento è possibile solo ricorrendo a mute periodiche (tecnicamente: «ecdisi») durante le quali l'animale abbandona la vecchia esuvia sostituendola con un esoscheletro di nuova formazione.

Crostacei e insetti, a differenza dei vertebrati, non posseggono un sistema circolatorio chiuso. Il sangue non circola attraverso vene e arterie spinto da una pompa (il cuore), ma scorre liberamente attraverso la cavità corporea e gli interstizi dei tessuti. Il sangue viene spinto, a una pressione idrostatica molto bassa, mediante le contrazioni peristaltiche di un tubo chiamato caritatevolmente «cuore»; questo «cuore» è situato dorsalmente (in contrasto con la posizione ventrale dei vertebrati). Un sistema sanguigno aperto di questo tipo richiede per funzionare da un punto di vista idrostatico un esoscheletro piuttosto resistente perché possa aver luogo una circolazione dell'emolinfa. Qualcosa di simile troviamo anche nei vertebrati, dove le arterie, soprattutto quelle prossime al cuore, devono essere rafforzate da uno strato di muscoli circolari.

L'esoscheletro pone agli insetti particolari problemi di respirazione, che vengono risolti mediante l'assunzione diretta dell'ossigeno atmosferico nei tessuti per mezzo di un sistema capillare costituito da tubuli sottilissimi chiamati *trachee*. Questo meccanismo è così lento e inefficiente da farci sospettare che movimenti corporei, come il battito delle ali, abbiano un ruolo nella respirazione.

Un altro carattere morfologico che contraddistingue gli artropodi è la notevole linea evolutiva di cui essi sono i membri principali è il fatto che la loro corda nervosa decorre ventralmente e non dorsalmente come nei cordati (ciò spiega perché si insegni agli studenti a

sezionare gli invertebrati dal lato dorsale). Negli artropodi la segmentazione non è primariamente, a differenza che nei cordati, una segmentazione della muscolatura longitudinale: essa riguarda invece il corpo intero, e ciascun segmento comprende un suo ganglio nervoso, un organo escretore e di solito delle appendici.

Gli artropodi devono essere discesi da un progenitore simile agli anellidi. Gli onicofori, classe degli artropodi rappresentata fra l'altro dalle famiglie dei peripatidi e dei peripatopsidi, hanno caratteri intermedi tra artropodi e anellidi. Il *Peripatus* è quindi un cosiddetto anello mancante, o, per chi abbia una formazione più letteraria, un gradino della grande scala dell'essere.

ATAVISMO

Quando, nel 1866, John Langdon Down chiamò «mongolismo» quella forma di ritardo mentale che è nota oggi alle persone umane e dotate di discernimento come sindrome di Down, introdusse quella denominazione perché vide in tale condizione una forma degenerativa: la conseguenza di un regresso a una lontana condizione umana ancestrale ritenuta simile a quella delle moderne popolazioni mongole, o a una condizione «persino inferiore» (il giudizio negativo sulla razza mongolica implicitamente contenuto nella scelta di questo nome non mette certamente Down in buona luce presso i mongoli che oggi fanno parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità). Chi era affetto dalla sindrome di Down veniva quindi considerato un esempio di regressione, una manifestazione di atavismo. Analogamente il criminologo italiano Cesare Lombroso (1835-1909) interpretò la «mentalità criminale» come una conseguenza di un atavismo, la regressione a una condizione umana primitiva e inferiore. Quest'idea ben si adattava alle idee oscure e confuse dell'ereditarietà presenti allora in molti intellettuali dell'età vittoriana ed edoardiana, e in «pensatori» – se il termine non è troppo forzato – quali Max Nordau, la cui nota opera *Entartung* [Degenerazione] (1893), che esercitò una grande influenza, è appunto dedicata a Lombroso. Secondo Nordau, Wagner, Ibsen e Oscar Wilde presentavano tutti segni più o meno spiccati di degenerazione.

La nozione di atavismo nacque chiaramente da un fraintendimento popolare della legge di ricapitolazione, principio non più

accettato nella forma in cui lo propose Ernst Haeckel. Da un punto di vista genetico la ricomparsa di un carattere ancestrale, specialmente di un carattere recessivo in discendenti remoti, non è affatto impossibile; anche Aristotele riconobbe questa possibilità, di cui addusse esempi. Una mutazione casuale, o anche un accoppiamento fortuito, possono unire due geni recessivi rimasti separati per molte generazioni; le leggi di Mendel si fondano sull'assunto, in seguito sempre confermato sperimentalmente, secondo il quale i geni sono entità fisicamente e geneticamente stabili che, nello stesso ambiente genetico e di sviluppo, producono gli stessi effetti. È dunque al mendelismo che dobbiamo rivolgerci per una spiegazione, e solo il mendelismo può darla. Regressioni come quelle di cui si è parlato devono essere state rilevate spesso da allevatori. Il fenomeno, quale si applica a singoli geni o coppie di geni, non è estremamente improbabile; d'altra parte, la probabilità che un intero genoma ancestrale possa ricostituirsi due o più generazioni dopo è altrettanto piccola quanto quella che una teiera, posta su del ghiaccio, invece di raffreddarsi si metta a bollire (esempio scelto da Arthur Eddington per illustrare il carattere probabilistico della Seconda Legge della Termodinamica).

BATTERIOFAGI

Un batteriofago è un virus in grado di infettare cellule batteriche, causandone spesso la dissoluzione (lisi). Questa proprietà suscitò un tempo grandi speranze circa la possibile utilità terapeutica dei batteriofagi, possibilità che svolse una parte importante in un romanzo di Sinclair Lewis, *Arrowsmith*, del 1925. I batteriofagi più noti sono quelli della serie T, che infettano l'organismo *Escherichia coli* (*Bacterium coli*).

La genetica molecolare deve moltissimo allo studio dei batteriofagi, che permette una notevolissima abbreviazione dei tempi: mesi invece dei decenni che sarebbero necessari allo sperimentatore che lavorasse su virus che infettano comuni cellule in colture di tessuti. La ricerca sui batteriofagi si è rivelata quindi oltremodo euristica – una delle parole del vocabolario filosofico che i profani cercano più spesso sul dizionario per dimenticarsi del significato subito dopo. Se ci si deve fidare del dizionario, la parola significa «utile alla ricerca, alla scoperta».

BEHAVIORISMO

Chi legge romanzi con una certa assiduità è certamente consapevole che esistono due tipi di narratori. Da un lato ci sono scrittori che, oltre a narrare lo svolgersi dei fatti, si arrogano il privilegio di entrare nella mente dei loro personaggi e di riferire ciò che vi trovano. I narratori di questo primo tipo ci raccontano dunque anche i pensieri, le sensazioni, le emozioni, le speranze e le paure dei personaggi. In questo modo il lettore può collegare il racconto dei fatti col mondo interiore dei personaggi, godendo così del privilegio di sapere che cosa essi pensino di se stessi, e che cosa l'uno dell'altro.

I narratori del secondo tipo ci dicono invece dei personaggi solo ciò che potremmo osservarne o inferirne noi stessi se fossimo spettatori onnipresenti di quanto viene narrato. I romanzieri del secondo tipo, dunque, oltre a narrare i fatti – a raccontare cioè la «storia» – descrivono il comportamento dei loro personaggi e quello che si dicono nelle circostanze più svariate – senza ricorrere in generale al sotterfugio di riferire ciò che il personaggio dice tra sé e sé. Questi narratori non prestano particolare attenzione ai pensieri e ai sentimenti dei personaggi, i quali si manifestano solo attraverso ciò che i personaggi fanno e dicono.

I narratori del primo tipo possono essere paragonati agli «psicologi introspettivi», che un tempo dominarono la psicologia; mentre i narratori del secondo tipo (tra i quali è insuperata Jane Austen) possono essere paragonati più precisamente ai behavioristi. Se il narratore è tecnicamente brillante, osservatore acuto e attento, lo stile behavioristico è straordinariamente efficace. Non occorre che Jane Austen ci dica esplicitamente che il signore e la signora Dashwood sono persone meschine e profondamente egoiste: per metterne in luce la grettezza bastano le prime cinque o sei pagine di *Sense and Sensibility*, da cui esce un quadro così perfetto che nessun discorso psicologico riuscirebbe a migliorarlo.

Il behaviorismo, sorto da tre quarti di secolo, è a un tempo una filosofia della mente e un metodo di ricerca. Consideriamone dapprima gli aspetti metodologici. John Broadus Watson (1878-1958) e i suoi seguaci introdussero una rivoluzione baconiana in psicologia sostituendo ovunque i dati dell'esperienza a ciò che, non essendo percepibile coi sensi, era conoscibile solo per inferenza – pensiamo ad esempio a stati mentali complessi quali gioia, tristezza, odio e perfino (dove potremmo infatti tracciare una linea di demarcazione?) alla coscienza stessa. Il metodo behavioristico ha esercitato una grande influenza, sostituendo il privilegio presunto dell'introspezione con narrazioni e resoconti empirici.

In quanto filosofia della mente, il behaviorismo è stato per lo più largamente travisato: molti lo ritengono una dottrina rozza-mente meccanicistica che riduce l'uomo al rango di una macchina, privandolo di una mente, di una psiche e di quello speciale desiderio di comunicare, di quell'apertura verso l'esterno, che per la gente comune è una prova di sensibilità così come il calore corporeo o il battito del cuore sono una prova di vita fisica.

Chi attribuisce queste idee così negative al behaviorismo non fa che confonderne i due aspetti, quello metodologico e quello filosofico. Il behaviorismo non nega l'esistenza della coscienza (chi lo facesse non farebbe che rafforzare negli altri la convinzione di essere effettivamente coscienti). Sostiene invece che non c'è alcun *bisogno* di ricorrere al concetto di coscienza nell'analisi psicologica. Invece di ricorrere a concetti che sono inferenze tratte dalla nostra consapevolezza empirica di un modo di comportamento, dovremmo limitarci a registrare semplicemente il comportamento. È questo un modo di vedere le cose alla Jane Austin.

Per questi travisamenti del behaviorismo, e per l'atmosfera di ostilità che questa dottrina ha suscitato, i behavioristi devono rimproverare solo se stessi. Spira, da molte loro pagine, un'aria afflitta e truculenta, quasi che l'obiettivo primario della nuova scienza fosse di abbattere una volta per tutte la presunzione di privilegio e le aspirazioni letterarie della psicologia introspettiva.

Ma quella particolare battaglia è ormai vinta: non c'è bisogno che i behavioristi la portino avanti. Il behaviorismo filosofico convertì inaspettatamente uno dei massimi filosofi inglesi, Gilbert Ryle, di Oxford, il cui *Concept of Mind* (del 1949) ha una forte colorazione behavioristica (cosa del resto non negata da lui).

Nonostante il suo contributo alla metodologia, il behaviorismo non ha però prodotto alcuna rivelazione concettuale significativa, né, sul piano più strettamente psicologico, ha approfondito la comprensione della nostra mente né ha ampliato il nostro patrimonio di procedimenti profilattici o terapeutici.

BILHARZIOSI

Questa malattia debilitante (che oggi si preferisce chiamare schistosomiasi) è causata dall'invasione dei vasi sanguigni dei visceri e anche del cervello a opera di una fra le più di duemila specie di parassiti che infestano l'uomo. Fu il chirurgo tedesco Theodore Bilharz a scoprire per primo, al Cairo, la causa della malattia, che da lui prese il suo nome. Le vittime della bilharziosi si contano a milioni: la malattia è presente in Africa, in Giappone, in Sudamerica e nei Caraibi. I danni da essa provocati sono in parte di origine meccanica e in parte conseguenza dell'intensa reazione allergica attivata dal parassita. L'ospite intermedio è un gasteropode ac-

quatico che non soffre particolarmente per l'infestazione, cosicch  esso non descriverebbe la schistosomiasi come una malattia dei gasteropodi diffusa dall'uomo. Il modo migliore per contrastare la diffusione della malattia  , nelle zone a rischio, quello di evitare di fare il bagno in acque infestate da tali gasteropodi.

BIOGENESI

Nella sua forma affermativa, la legge della biogenesi dice che ogni organismo vivente deriva da altri organismi viventi che l'hanno preceduto nel tempo.   la familiare massima latina *Omne vivum e vivo*: ogni vivente discende da altri viventi. In altre parole, ogni organismo vivente ha un albero genealogico ininterrotto che risale fino ai primi esseri viventi. Nella sua forma negativa, la legge nega l'occorrere (e anche la possibilit ) della generazione spontanea. Inoltre i topi generano topi, e gli uomini altri uomini.   questo il principio dell'«omogenesi»: il simile genera il simile.

La legge della biogenesi   forse la pi  fondamentale in biologia: l'evoluzione stessa pu  essere infatti interpretata come una forma di biogenesi che ammette, di quando in quando, la comparsa di qualche forma variante.

Non solo interi organismi ma anche talune loro parti, come i mitocondri, hanno origine biogenetica: essi non si formano cio  *ex novo* nel corso dello sviluppo, ma derivano da altri mitocondri gi  esistenti, che vengono necessariamente trasferiti nello spermatozoo o nell'ovulo.

BIOINGEGNERIA

Non   possibile dare, di quest'area di ricerca scientifica o paramedica, una definizione che risulti soddisfacente per tutti coloro che vi lavorano. La bioingegneria comprende varie attivit  tra loro diversissime.

Al primo posto viene la progettazione e la costruzione di macchine in grado di compiere o sostituire temporaneamente varie funzioni fisicomeccaniche del corpo. Un esempio   il rene artificiale, capace di svolgere l'ultrafiltrazione, che   una parte importante della funzione del rene organico; un altro   la macchina cuore-polmone, che ha reso possibili gli interventi chirurgici a

cuore aperto e il trapianto cardiaco. Rientrano in questa categoria anche vari arti artificiali e perfino le protesi acustiche.

Un altro aspetto della bioingegneria è l'analisi di aspetti fisico-meccanici del funzionamento del corpo. Si studiano movimenti come il nuoto, la deambulazione e la corsa e si redigono tabelle del bilancio termodinamico tra energia assunta e energia consumata in conseguenza del movimento muscolare e della perdita di calore.

La bioingegneria descrive inoltre l'uso di metodi biologici nella manifattura e in generale nell'industria. La vinificazione, la concia delle pelli, la preparazione di detersivi contenenti enzimi nonché la produzione dell'aceto sono altrettante attività fondate su processi biologici, molte delle quali antichissime e scoperte per via empirica.

Ma non è attraverso queste semplici e benefiche forme di bioingegneria che lo Scienziato Pazzo si propone di realizzare il suo perverso proposito di abolire la coscienza e la psiche e di ridurre l'uomo a un automa privo d'anima ma obbediente i cui rapporti con gli altri individui saranno limitati allo scambio di informazioni concrete. No: è per mezzo dell'*ingegneria genetica* che lo Scienziato Pazzo cercherà di realizzare le sue ambizioni. È ingegneria genetica tutto ciò che mira alla deliberata alterazione del genoma in una direzione predeterminata.

Forse il profano sarà traumatizzato nell'apprendere che possediamo già i mezzi per produrre almeno due diversi tipi di esseri umani: l'uno alto, bello, ben dotato fisicamente e intellettualmente; l'altro brutto, stupido e obbediente, con l'aspetto, la docilità e le capacità di un servo. Queste due categorie di esseri umani non differirebbero fra loro più di quanto differiscono già, oggi, talune razze canine. Per conseguire questo risultato basterebbe poco: tempo, denaro, e la voglia di farlo. Gli esseri umani hanno un sistema di riproduzione aperto, di «tipo selvatico» per usare un'espressione di genetica, con un grande patrimonio di variabilità genetica. Nulla ci impedirebbe, da un punto di vista tecnico-biologico, di applicare all'uomo la tecnica più efficace dell'ingegneria genetica: la selezione artificiale, trattando le persone, in effetti, come cani; perché è questo il modo in cui *abbiamo* trattato i cani.* A tale scopo occorrerebbe imporre tirannicamente una po-

* Vedi P.B. Medawar, *Pluto's Republic*, Oxford 1982, p. 331.

litica di accoppiamento selettivo per un periodo di tempo non superiore alla durata della Casa degli Asburgo. Ciò che finora ha impedito la realizzazione di questo proposito è stata la scarsità su scala mondiale di scienziati pazzi nonché la virtuale impossibilità di garantire che una linea politica possa restare stabile per un gran numero di generazioni umane.

L'espressione «ingegneria genetica» denota normalmente qualcosa di alquanto diverso: essa implica mutamenti genetici deliberati per mezzo della manipolazione dell'acido desossiribonucleico (DNA), il veicolo dell'informazione ereditaria. A tale scopo occorre inserire nel DNA di un ospite appropriato (per esempio un batterio non virulento) un tratto di DNA comprendente tutte le istruzioni genetiche necessarie per ottenere la sintesi del prodotto finale desiderato: per esempio un ormone quale l'insulina o l'ormone della crescita, o un antigene da usarsi nelle vaccinazioni. Questo risultato è possibile oggi grazie a una serie di brillanti scoperte tecniche in conseguenza delle quali lo sperimentatore dispone di tutto un arsenale di macchine che gli consentono di interrompere la catena del DNA e di introdurre in essa il segmento desiderato.

Alcuni recenti sviluppi appaiono decisamente incoraggianti, benché il traguardo non sia poi così vicino come certi propagandisti vorrebbero farci credere. Le persone abbastanza mature da leggere questo libro ricorderanno certamente le fanfare trionfalistiche che annunciarono l'Età della Plastica, fanfare che continuarono ad assordarci fino a quando la gente si stancò di sentirsi dire che nel prossimo futuro ogni cosa al mondo avrebbe avuto un suo surrogato di plastica. Una cosa veramente stucchevole: però gli oggetti di plastica furono prodotti lo stesso, e sono stati estremamente utili. Allo stesso modo, avremo anche ormoni, antigeni e farmaci prodotti artificialmente: tutta la storia della tecnologia non dimostra infatti che qualsiasi cosa sia possibile fare sarà fatta, a patto naturalmente che l'intenzione di farla sia abbastanza ferma e costante? L'uomo sulla luna? Ma certo. Far scomparire il vaiolo? Roba da niente. Rimediare alle deficienze del genoma umano? Beh, sì, anche se questo è un po' più difficile e richiederà più tempo. Non ci siamo ancora, ma sicuramente stiamo andando nella direzione giusta.

Qualche autore di divulgazione scientifica, ma fra i rappresen-

tanti meno responsabili di una professione svolta in genere in modo serio, ha presentato queste impressionanti conquiste sperimentali come i primi passi verso una sorta di Grand Guignol biologico, in cui sarà perpetrata ogni sorta di enormità genetica ed epigenetica. In tutta la storia passata della biologia non c'è nulla che possa giustificare la calunnia secondo cui i biologi si siano attrezzati per realizzare, con una perversa esultanza, le mostruosità rese possibili dalla bioingegneria moderna. Uno fra i più famosi genetisti inglesi, rientrando in Inghilterra, fu sottoposto a un controllo alla dogana. «Sarà meglio che la faccia passare», disse infine il funzionario, «altrimenti c'è il rischio che lei mi trasformi in una rana.» Se non altro, quell'impiegato delle dogane dimostrò di rendersi conto della sua posizione, come se fosse istintivamente consapevole che uno sciocco credulone non merita di essere trasformato in un principe azzurro.

BIOLOGIA MOLECOLARE

La biologia molecolare è la storia di un grande successo della biologia moderna nello stesso modo in cui l'anatomia e la zoologia comparate lo furono nel quarto di secolo seguito alla pubblicazione dell'*Origine delle specie* di Darwin. L'obiettivo della biologia molecolare è l'interpretazione di strutture e attività biologiche in termini esplicitamente molecolari.

Uno storico acuto e perspicace della biologia moderna ha sottolineato che la biologia molecolare incorpora due importanti correnti di pensiero: quella che si occupa di strutture e quella che si occupa dell'informazione genetica. Si può dire che la corrente strutturale abbia avuto origine dai tentativi pionieristici di W.T. Astbury di svelare l'ordine essenzialmente cristallino di sostanze proteiche come fibre di coagulo del sangue, seta e cheratina (la proteina strutturale di peli e capelli, dello strato più esterno della pelle, e di unghie, artigli e corna). Fra i massimi trionfi della biologia molecolare strutturale c'è il chiarimento della struttura tridimensionale della proteina dei muscoli, la mioglobina, e dell'adenovirus umano 12.

La corrente della biologia molecolare che si occupa dell'informazione genetica costituisce la *genetica molecolare*; questa forma una linea di pensiero quasi ininterrotta di cui si può individuare

l'inizio in un articolo edito nel 1928 da un funzionario medico del Ministero della Sanità britannico. Fred Griffith, che era interessato agli strani alti e bassi della virulenza nei batteri, intitolò il suo articolo *The Significance of Pneumococcal Types*. Noi ne compendieremo qui sotto la parte che ha attinenza col futuro sviluppo della genetica molecolare.

I pneumococchi cresciuti su piastre di coltura formano colonie lisce (L) o «ruvide» (R) a seconda che essi siano o no racchiusi in una capsula di polisaccaridi. Questa capsula può essere di vari tipi chimici diversi, distinguibili l'uno dall'altro per mezzo di metodi immunologici. Griffith trovò che cellule R vive derivate da pneumococchi di un tipo potevano essere trasformate in varianti L di un altro tipo inoculando cellule R vive in topi assieme a dosi relativamente grandi di cellule L morte, uccise mediante esposizione ad alte temperature, del tipo in cui dovevano essere trasformate le cellule R.

Un tale fenomeno non poteva non accendere l'immaginazione dei biologi. Le ricerche sull'argomento furono proseguite con energia, specialmente alla Columbia University e al Rockefeller Institute for Medical Research, dove si trovò ben presto che l'agente che trasformava cellule R in cellule L poteva essere isolato in un estratto non cellulare il cui principio attivo passava attraverso un filtro capace di arrestare i batteri. Estratti deproteinizzati e privi di polisaccaridi conservavano ancora la loro attività.

Fu un momento memorabile nella storia della biologia quello in cui Oswald Avery e i suoi colleghi al Rockefeller Institute annunciarono che l'agente di trasformazione era con ogni probabilità una «forma altamente polimerizzata e viscosa di desossiribonucleato»: ossia un DNA non denaturato. Nella vivace discussione seguita a questa notevole scoperta si riconobbe ben presto che l'agente di trasformazione era, in effetti, un gene solubilizzato e che perciò veicolo dell'informazione genetica erano con ogni probabilità gli acidi nucleici. Molti biologi insorsero contro quest'interpretazione, dando per scontata la nozione tradizionale che una funzione molecolare così importante potesse essere svolta solo da proteine. L'ipotesi di Avery resistette nondimeno a tutti i tentativi di scalzarla, tentativi che furono in verità acuti e vigorosi come si conveniva a una scoperta così significativa. L'ipotesi ne uscì però indenne e non ne fu richiesta alcuna modifica consistente.

Prove collaterali provenienti da molti campi diversi confermarono l'interpretazione che gli acidi nucleici sono in effetti il veicolo dell'informazione genetica: si trovò che un acido nucleico è un componente integrante dei virus, e che quando dei batteri vengono invasi da batteriofagi (virus batterici) è la parte del virus contenente l'acido nucleico a entrare nella cellula batterica. Quanto all'acido ribonucleico, le ricerche di biochimici come Torbjörn Caspersson e Jean Brachet avevano chiarito con grande evidenza l'associazione fra la sintesi delle proteine e la presenza di RNA.

La scoperta singola più illuminante nell'intera storia della genetica molecolare fu quella grazie alla quale le due correnti primarie della biologia molecolare, della struttura e dell'informazione, si fusero in una. Questo compimento si ebbe attorno al 1953, quando Francis Crick e James Watson chiarirono la struttura cristallina del DNA, dimostrando come la struttura si presti non solo all'atto primordiale della duplicazione – la formazione di due molecole di DNA là dove in precedenza ce n'era una sola –, ma anche alla trasmissione di informazione genetica (vedi la definizione di «Codice genetico» in GENETICA ED EMBRIOLOGIA, TERMINI DI). La corrente principale della genetica molecolare andò ben presto a confluire con la biochimica in una serie di esperimenti che dimostrarono come l'informazione contenuta nel DNA venga copiata in un RNA «messaggero» e poi, attraverso la mediazione di un RNA «di trasporto», venga rappresentata nella struttura di una proteina nei termini degli amminoacidi che la compongono. Molti gruppi separati di ricercatori, usando sistemi sperimentali diversi, resero possibile la nostra comprensione attuale del processo; e benché non sia possibile redigerne un elenco completo senza una minuziosa ricerca storica e bibliografica, i nomi che divennero rapidamente familiari fra i biologi contemporanei – oltre a quelli che abbiamo già menzionato –, sono quelli di Sidney Brenner, Matthew Meselson, Marshall Nirenberg, George Matthaei, Jacques Monod, François Jacob, Severo Ochoa e Paul Zamecnick.

Solo una scarsissima capacità di giudizio o un'invidia meschina potrebbero contestare alla biologia molecolare il diritto a essere considerata la fonte delle scoperte più brillanti in biologia dopo il tempo di Darwin e della grande generazione postdarwiniana di anatomisti comparati. Fra le molte lezioni che possiamo apprendere dallo sviluppo della biologia molecolare c'è la grandezza dei

contributi dati da fisici e chimici: un fatto che mina alla radice la trita lagnanza secondo la quale oggi gli scienziati sarebbero così specializzati da non essere in grado di comunicare non solo col pubblico generico, ma neppure con i loro colleghi di altre discipline. Come si può sostenere un'opinione del genere in presenza di prove tanto chiare dei contributi giganteschi dei fisici alla biologia generale?

La confluenza delle due correnti principali della biologia molecolare e la fusione di entrambe con la biochimica costituiscono la «rivoluzione molecolare» in biologia. I biologi molecolari hanno assolto con tanto successo la loro funzione che oggi si può mettere in dubbio il bisogno – tranne che forse per esigenze pedagogiche – di una disciplina separata e distinta della biologia molecolare. Oggi questa non è più una pianta delicata che necessiti di un suolo speciale e di vigili cure, bensì è la pianta più bella e vitale del giardino.

A rischio di introdurre una nota stonata in quello che sarebbe stato altrimenti un panegirico, val la pena di formulare un invito alla prudenza. Nelle rivoluzioni di questa grandezza c'è sempre il rischio che una disciplina possa aggiudicarsi un rango eccessivo, usurpando l'attenzione degli studiosi e dei ricercatori a spese di altre imprese importanti. Esiste in effetti il pericolo che la determinazione della sequenza di una proteina, quanto più bizzarra tanto meglio, possa essere considerata un'impresa che giustifichi un rapido avanzamento nella carriera e i massimi onori accademici.

BIOLOGIA NELL'ISTRUZIONE MEDICA

Poiché gran parte della medicina non è altro che biologia applicata, si potrebbe pensare che la biologia abbia esercitato un'influenza vasta e profonda, e del tutto benefica, sull'istruzione medica e sul pensiero stesso del medico. In realtà non è stato così. La biologia in un senso antiquato (che sarebbe stato riconosciuto da Charles Darwin) ha imposto un fardello pedagogico quasi intollerabile alla professione medica ed è stata giudicata responsabile di gravi errori come il panglossismo, di cui parleremo tra poco.

La nozione che l'uomo è un animale ha un'importanza fondamentale; eppure non fu un biologo a enunciarla. Aristotele fu consapevole di questa nozione, che era già implicita nella grande

catena dell'essere di Platone. Fu però un medico londinese, Edward Tyson, a mettere nel 1669 sotto gli occhi di tutti l'affinità esistente fra una scimmia antropomorfa, un uomo e un piccolo di scimpanzé (un «pigmeo», come si diceva allora).

Nei cinquant'anni seguiti alla pubblicazione dell'*Origine delle specie* di Darwin, i grandi biologi evoluzionisti ottocenteschi – uomini come Karl Gegenbaur, Johan van Wijhe e Edwin Goodrich – videro il compito principale della biologia nel corroborare la concezione evoluzionistica e nel dimostrarne la realtà storica, ricorrendo principalmente ai metodi dell'anatomia comparata. Accesi da zelo missionario, non si accontentarono di ricostruire le grandi dinastie dell'evoluzione, ma trascorsero gran parte del loro tempo in ricerche nei registri parrocchiali dell'evoluzione, nel tentativo di accertare i rapporti evolutivi fra ordini e sotto-ordini.

Ben presto ci si rese conto che non si poteva capire veramente l'uomo senza una chiara comprensione del processo evolutivo di cui egli è il massimo coronamento: era perciò indispensabile che il futuro medico venisse condotto in una visita guidata attraverso tutto il regno animale, a partire dall'ameba passando per il lombrico, lo scarafaggio, il pescecane, i pesci ossei, la rana e il coniglio. A questo punto il futuro medico avrebbe avuto una buona prospettiva storica di ciò che lo attendeva nell'anfiteatro d'anatomia. Nacque così, nel Regno Unito, la faticosa sgobbata chiamata «first MB», l'anno propedeutico che precedeva l'inizio degli studi propriamente medici, già troppo lunghi di per sé. La situazione non fu mai così brutta negli Stati Uniti, perché qui le tradizioni delle arti liberali garantivano che la biologia studiata dal futuro medico si inquadrasse in un curriculum ben progettato che aveva un valore educativo proprio, a prescindere dalla successiva scelta dello studente per medicina, scienze o qualsiasi altro indirizzo.

Anche se non è un grande elogio, va detto che pochi studenti sono stati probabilmente guastati in modo irreparabile dal «first MB» o da altri corsi analoghi. Forse il danno principale di queste esercitazioni propedeutiche fu di creare l'illusione che le osservazioni biologiche di vegetali e animali avessero una loro speciale autenticità che condusse a dar meno peso alla biologia umana. Oggi, vivendo in un'età più illuminata, ci rendiamo conto che la genetica teorica può essere insegnata in modo altrettanto rigoroso con riferimento all'uomo come al moscerino della frutta, al pisel-

lo o al topo. C'è anzi più di una ragione per cui si dovrebbe dare la preferenza all'uomo, perché la genetica umana si presta particolarmente bene allo studio realistico del polimorfismo, della genetica delle popolazioni eccetera.

Un altro danno imputabile ai corsi propedeutici di biologia è di avere indotto in molti studenti di medicina un'immunità permanente alla biologia, impedendo loro di apprezzarne le ricchezze e le delizie intellettuali. Talvolta, anzi, lezioni mal comprese su Darwin e in generale sulla teoria dell'evoluzione hanno condotto a quell'aberrazione di pensiero, peculiarmente medico-biologica, che è stata chiamata panglossismo, dall'egregio dottor Pangloss del *Candide* di Voltaire. Il dottor Pangloss sosteneva che *tout est bien*: tutto va per il meglio; la Natura sa ciò che fa, e la cosa migliore è lasciar sempre libero corso alla Natura. Non è forse vero che ogni forma vivente è stata temprata nel crogiuolo della selezione naturale, così che ognuna ha potuto trovare le soluzioni migliori possibili, se non le migliori immaginabili, ai molti problemi della sopravvivenza e della riproduzione in un ambiente ostile?

Consideriamo, per esempio, la grossolana inefficacia dei processi di cicatrizzazione di lesioni che hanno condotto alla perdita dell'intero spessore della pelle su regioni estese, come nel caso di gravi ferite meccaniche o di ustioni profonde ed estese. Il processo «naturale» di riparazione comincia di norma col distacco dei tessuti morti, che vengono provvisoriamente sostituiti dal cosiddetto tessuto di granulazione: una proliferazione riccamente vascolare di cellule del tessuto connettivo e di globuli rossi che riempiono l'area in cui si è avuta la perdita di tessuto. La riparazione procede poi con la formazione di normali cellule dell'epidermide sulla superficie del tessuto di granulazione, a partire dal bordo della lesione e dalle eventuali isole di epidermide viva rimaste all'interno dell'area lesa. Questo epitelio di nuova formazione è meccanicamente debole ed estremamente instabile. Il tessuto di granulazione sottostante a questa superficie provvisoria si trasforma in tessuto fibroso mediante la deposizione di fibre del tessuto connettivo; ma una pelle vera, fatta di fibre di tessuto connettivo disposte tridimensionalmente, non si rigenera mai; né, di norma, si rigenerano le ghiandole sudoripare, né quelle sebacee né i peli. Peggio ancora, la lesione subisce ora un processo di contrazione che approssima i lembi della ferita, lasciando così una cicatrice a marcare

l'area della ferita stessa. Questo processo di contrazione può lasciare brutte conseguenze: sfigurare un volto, o menomare seriamente un arto. Nel caso di una gamba, ad esempio, la contrazione può facilmente danneggiare la circolazione del sangue arterioso e quasi sempre impedisce la circolazione della linfa e il ritorno venoso. Il risultato finale è una menomazione della funzionalità e un deterioramento gravissimo della qualità estetica.

L'uomo rimedia a questa situazione con i trapianti di pelle, un grande miglioramento dell'opera della Natura, per mezzo dei quali la perdita dei liquidi corporei dalla zona lesa diminuisce, i rischi d'infezione si riducono a un minimo, e soprattutto viene prevenuta la contrazione, che con un po' di fortuna può essere evitata quasi del tutto. Non si può certo dire al chirurgo plastico che la Natura fa tutto nel migliore dei modi possibili.

CANCRO

La branca della patologia che si occupa dello studio del cancro si chiama *oncologia* (il prefisso *onco-* si riferisce sempre al cancro, come in *oncogeno* o in *oncovirus*). Quel che sappiamo sul cancro è il frutto di parecchi secoli di osservazioni cliniche e, da un centinaio d'anni a questa parte, di ricerche sistematiche.

Taluni patologi, oppressi dall'enorme varietà dei tipi di cancro, dai loro modi di crescita e dai modi in cui possono essere causati, negano che il cancro sia un'entità clinica: non si tratta di un unico male, dicono, ma molte malattie diverse per origine e comportamento, per le quali si dovrà cercare quindi un numero proporzionalmente elevato di trattamenti diversi. Pur non potendo negare nessuna di queste asserzioni, noi pensiamo però che non se ne sappia ancora abbastanza per respingere l'assunto più semplice che ci sia qualcosa di comune nella formazione di tutti i tumori, e che quindi tutte le forme di cancro siano fundamentalmente simili, sebbene tale elemento comune non sia ancora stato scoperto. Ciò non significa che debba esserci necessariamente un'unica cura del cancro. I vari tipi di tumore hanno sicuramente proprietà diverse, come la dipendenza da ormoni specifici, che si possono spesso utilizzare clinicamente.

Nella terminologia medica corrente, il suffisso *-oma* indica di solito una proliferazione cellulare benigna: per esempio, il callo prodotto su un dito da una scarpa troppo stretta è un epitelioma; e l'osteoma è un tumore benigno del tessuto osseo. Quando la proliferazione delle cellule epiteliali è maligna si parla però di carcinoma; alcuni puristi sostengono che non è corretto usare il termine «cancro» per indicare genericamente tutti i tumori maligni, ma che lo si dovrebbe usare solo nel caso di tumori di origine epitelia-

le. L'uso corrente tende però a ignorare queste finzze semantologiche. Il termine «sarcoma», per esempio, viene usato per indicare un tumore maligno di tessuti ossei, connettivi o circolatori, come in osteosarcoma, fibrosarcoma, linfosarcoma.

Non tutti i tumori si sviluppano rapidamente, né la rapida crescita è la proprietà che si deve temere di più: è invece il carattere *invasivo* di alcuni tumori che li rende a un tempo più pericolosi e meno accessibili al trattamento chirurgico. Un'altra grave complicazione è la *metastasi*, ossia la riproduzione del tumore a distanza in tutto il corpo.

Benché nei paesi industrializzati dell'Occidente le malattie cardiovascolari siano diventate da molto tempo la principale causa di morte degli adulti, il cancro è il male più temuto. Lewis Thomas ha richiamato l'attenzione sull'analogia che esiste tra il timore del cancro e il timore della tubercolosi («consunzione» o «mal sottile»), diffusissimo alla svolta tra l'Ottocento e il nostro secolo, quando sentirsi diagnosticare la tubercolosi significava la condanna a morte, soprattutto se l'infezione era diffusa in tutto il corpo.

Allo stesso modo, oggi quasi tutti credono che il cancro sia un male incurabile, progressivo, inevitabilmente fatale, che mai regredisce per remissione spontanea. Questa convinzione non è del tutto esatta: certe volte dal cancro si *può* guarire, anche se non così spesso come si afferma in certe riviste programmaticamente ottimiste per non alienarsi lettori e inserzionisti. Certe volte la combinazione di chirurgia e chemioterapia riesce ad arrestare la crescita di alcuni tipi di cancro; tuttavia è del tutto ingiustificato attendersi sempre il successo.

In alcune forme di cancro si riscontra a volte una remissione spontanea: la neoplasia può regredire e sparire senza alcun intervento terapeutico. Questo fenomeno, unitamente alla convinzione che nel nostro organismo si producano più tumori di quanti finiscono col diventare clinicamente pericolosi, ha dato origine all'opinione diffusa che il nostro organismo sia in grado di difendersi dal cancro. Molti biologi ci credono, anche se è difficile trovare ragioni biologiche per spiegare come possa essersi evoluto un tale sistema di difesa. Infatti il cancro, a differenza delle malattie infettive, non può essere stato una causa di mortalità così grande da aver determinato una pressione selettiva degna di nota; si deve inoltre tener conto del fatto che esso si verifica in gran parte nel

periodo postriproduttivo, in un periodo cioè (come si spiega alla voce INVECCHIAMENTO) in cui la forza della selezione naturale è molto attenuata.

Quale forma potrebbe assumere un meccanismo difensivo naturale? C'è accordo sulla tesi che, se un tale meccanismo effettivamente esiste, dovrebbe essere in generale di natura immunologica: tale, cioè, da attivarsi quando il tumore abbia, o acquisisca, sufficienti proprietà di estraneità rispetto all'organismo da risultare antigenico. Negli animali da laboratorio i tumori provocati da virus e sostanze oncogeni sono quasi sempre antigenici, e spesso inducono una reazione immunitaria abbastanza forte da causarne il rigetto. Meno certo è se ciò valga nel caso dei tumori cosiddetti «spontanei», giacché non se ne conoscono le cause.

La ricerca sul cancro è orientata soprattutto a trovare nuovi e migliori farmaci che inibiscano la proliferazione. La difficoltà di principio consiste nel fatto che nessuno di questi farmaci ha un'azione specifica sulle neoplasie: essi ritardano sì la crescita di cellule proliferanti ma possono talvolta essere essi stessi oncogeni, così come sono per esempio anche i raggi X e i raggi gamma. Questa difficoltà accresce l'interesse per la nozione di un trattamento immunologico, ma i risultati finora ottenuti sono stati piuttosto deludenti.

Una delle più interessanti fra le nuove aree della ricerca sul cancro è derivata dal concetto di *anaplasia*. Poiché questa nozione è di origine metafisica, può costituire un esempio particolarmente appropriato della tesi di Karl Popper secondo cui la speculazione metafisica, lungi dal dover essere necessariamente rifiutata come assurda, può essere ammessa nella scienza come fonte di idee, purché tali idee vengano sottoposte al rigoroso esame critico cui dovrebbero essere sottoposte tutte le nozioni scientifiche.

Nella Germania dell'Ottocento la speculazione ispirata alla *Naturphilosophie* era diffusa fra i patologi clinici come fra i biologi convenzionali. Alcuni patologi pensavano che esistesse una connessione profonda tra cellule cancerose e cellule dell'embrione. Avendo in mente i neuroni, essi pensarono che la capacità di moltiplicarsi di una cellula dev'essere inversamente proporzionale al suo stato di differenziamento: quanto più la cellula è differenziata, tanto meno è capace di dividersi (infatti le cellule delle prime fasi dello sviluppo embrionale hanno un'elevata capacità di divi-

sione, mentre il neurone, che è una cellula altamente differenziata, non ne ha affatto). Poiché le cellule cancerose si dividono con grande facilità, argomentavano tali patologi, si deve pensare che abbiano subito un qualche processo di dedifferenziamento, regredendo a una condizione embrionale. I tumori cancerosi, secondo Julius Cohnheim, dovevano dunque svilupparsi da «resti» embrionali: cellule embrionali, cioè, che per un qualche motivo non si erano differenziate permanendo così in modo anomalo nell'organismo divenuto ormai adulto. L'ipotesi, sottoposta a verifica sperimentale, è stata confutata da molto tempo, anche se si può capire che abbia un certo fascino filosofico. Inoltre il processo di dedifferenziamento non esiste: la maggior parte delle cellule cancerose rimangono differenziate e continuano a produrre i loro secreti specifici. Nondimeno si ha in un certo senso anche anaplasia: le cellule cancerose possono anche produrre di nuovo le stesse sostanze che le cellule da cui remotamente discendono producevano durante la vita embrionale o fetale. E oggi il termine «anaplasia» si applica proprio a questo inatteso risveglio e riattivazione di geni che funzionarono durante la vita embrionale.

Essenzialmente la ricerca sul cancro punta a scoprire una differenza clinicamente utilizzabile tra cellula cancerosa e cellula normale. L'anaplasia non costituisce certo la soluzione definitiva del problema, ma è finora l'approccio che si avvicina di più alla soluzione. Il fenomeno *ha* suscitato grande interesse, e a una recente conferenza sugli antigeni fetali nel cancro indetta da un ente benefico londinese erano presenti ricercatori di ben nove paesi. Non è vero che la ricerca sul cancro sia povera d'idee, come sembrano insinuare coloro che cercano qualche giustificazione per ridurre i notevoli stanziamenti che a essa vengono devoluti o sminuire il prestigio scientifico di cui essa gode. Noi siamo convinti che il cancro sarà infine ridotto sotto controllo attraverso l'ulteriore sviluppo e l'applicazione medica di idee oggi correnti.

Nessuno negherà la verità lapalissiana che il modo migliore per venire a capo del problema del cancro è quello di non ammalarsi di cancro. Dovrebbe essere perciò motivo di soddisfazione l'opinione corrente degli esperti che nell'80 per cento dei casi il cancro ha origine da cause esogene e quindi, in linea di principio, evitabili. Abbiamo in mente le forme di cancro provocate da virus, da sostanze chimiche industriali, dalle radiazioni ionizzanti, dalle fibre

di asbesto e da molti additivi alimentari (conservanti, coloranti, aromi artificiali e così via). Benché non sempre il carattere sacro della vita umana riesca a reggere il confronto col carattere sacro dei profitti commerciali e industriali, negli Stati Uniti e in Gran Bretagna sono allo studio rigorose norme legislative per un più oculato impiego delle sostanze potenzialmente oncogene.

Da venticinque anni a questa parte i dati più preziosi relativi alle cause e alle possibilità di controllo del cancro sono provenuti non dall'esperienza clinica o di laboratorio, ma da epidemiologi e demografi, ossia da coloro che dispongono di una conoscenza più diretta della natalità e della mortalità. Il padre fondatore degli studi epidemiologici sul cancro è Percival Pott, che per primo rilevò la correlazione tra il cancro dello scroto e il lavoro dello spazzacamino. Con ragionamenti analoghi si è successivamente stabilita una correlazione tra oncogenesi e radioattività, tra cancro della pelle e catrame di carbone e i suoi prodotti di distillazione, tra fumo e cancro ai polmoni, e, più recentemente, tra cancro e carenza di vitamina A e di carotenoidi.

Per promuovere la ricerca sul cancro si spendono annualmente cifre dell'ordine di centinaia di milioni di dollari; i risultati raggiunti non si possono però valutare solo in funzione dei suoi effetti sul controllo del cancro: anche le conseguenze indirette di questa ricerca sono considerevoli. Si pensi per esempio al trapianto di tessuti e di organi reso possibile dall'impiego di farmaci immunosoppressivi prelevati dall'ampio catalogo degli agenti chemioterapici introdotti in origine per il trattamento del cancro, tra cui l'azatioprina (Imuran) e l'amminopterina (metotrexato).

L'epidemiologia ha gettato una luce considerevole anche sulla correlazione tra sesso, storia riproduttiva e cancro. Per quasi tutte le forme di cancro le donne sposate sono meno esposte a rischio delle nubili; il cancro colpisce inoltre con frequenza maggiore gli uomini delle donne. Nelle donne emergono chiare correlazioni tra rischio di cancro e storia riproduttiva. Il cancro degli organi riproduttivi femminili è più comune nelle donne senza figli, e l'incidenza diminuisce proporzionalmente al numero di figli avuti. Nell'America Settentrionale e nell'Europa Settentrionale l'incidenza del cancro alle ovaie ha raggiunto il massimo tra le donne nate nel quinquennio 1895-1900, periodo in cui le nascite furono così basse che i demografi degli anni trenta si chiesero se la popo-

lazione del mondo occidentale non fosse destinata a estinguersi. Un'altra correlazione molto interessante è quella tra l'età della madre alla nascita del primo figlio e il rischio di contrarre il cancro alla mammella: le donne che ebbero il primo figlio a meno di vent'anni d'età corrono un rischio minore di quelle che avevano venticinque anni o più alla nascita del loro primo figlio; e le donne che ebbero il primo figlio a trent'anni o più sono esposte a un rischio di cancro alla mammella decisamente più alto delle donne che non hanno avuto figli.

CAROTIDI, ARTERIE

Sono le principali arterie che passano per il collo; ed è sicuramente alle carotidi che intendono riferirsi gli scrittori di romanzi gialli alle prime armi quando scrivono «vena giugulare». Le carotidi sono due e si suddividono ciascuna in due rami, la carotide interna e la carotide esterna. Esse distribuiscono il sangue ossigenato alla testa. L'occlusione delle carotidi causa una rapida perdita di coscienza, e una carotide incisa per disattenzione da un chirurgo nel corso di un intervento susciterebbe senza dubbio commenti sfavorevoli.

Così quando, in un manoscritto di storie d'avventure per ragazzi delle elementari e per adulti ritardati, si legge che il protagonista afferra per il collo un avversario, premendogli la vena giugulare, il redattore attento sostituirà subito quest'espressione con «arteria carotide».

CASO

Il caso interviene nei processi naturali a due livelli rilevanti per la teoria dell'evoluzione. In primo luogo, a livello delle mutazioni genetiche, che si verificano in modo casuale per frequenza e tipologia; e in secondo a livello del processo mendeliano, dove sono casuali l'accoppiamento dei cromosomi durante la formazione dei gameti nonché la congiunzione dei gameti nella fecondazione. In effetti proprio alla casualità si deve l'incredibile varietà di combinazioni – i bilioni e bilioni di organismi possibili fra cui l'evoluzione compie le sue scelte.

Chi sostiene che il mondo è opera di un Creatore benevolo, di

cui manifesta il disegno intelligente, non prenderà in considerazione i benefici del caso e chiuderà gli occhi dinanzi ai suoi misfatti. Secondo la teoria neodarwiniana il caso ha invece incorporato nella struttura stessa della natura le proprietà che rendono possibile il mutamento evolutivo, il che dev'essere considerato un titolo di merito. Ma c'è anche un rovescio della medaglia, che risulta chiaro se si calcola il costo dell'adattamento in una situazione come quella che conferisce un certo grado di immunità alla malaria agli eterozigoti per l'emoglobina S, coloro che hanno il gene dell'anemia drepanocitica. Questa relativa immunità va benissimo per gli eterozigoti, ma molto meno bene per i loro figli, un quarto dei quali sono vittime dell'anemia drepanocitica, quasi sempre letale.

Una volta un teologo ci disse che l'onniscienza e la benevolenza della divinità si possono riconoscere nel modo in cui il Creatore ha predisposto il ruolo del caso e ne ha fatto buon uso, come vediamo nel processo mendeliano. Non possiamo però evitare di sentirci a disagio dinanzi a un'argomentazione che potrebbe applicarsi con solo lievi modifiche anche al proprietario di un casinò.

CELLULARE, TEORIA

La suddivisione minima di tessuto capace di vita indipendente in una coltura di tessuti è la cellula. La cellula può essere concepita in modi alternativi: da un lato è l'unità minima da cui un tessuto è composto; dall'altro è una sorta di suddivisione meccanica o, per così dire, amministrativa, di un tessuto. «Amministrativa» perché, dal punto di vista della genetica e dell'epigenesi, una cellula non è altro che la sfera d'influenza del suo nucleo. Benché alcune cellule (per esempio le emazie dei mammiferi) siano prive di nucleo, di norma è presente un nucleo circondato da un gel colloidale viscoso, il citoplasma, delimitato da una membrana plasmatica esterna e comprendente organelli altamente organizzati quali mitocondri e sistemi di vacuoli. Il citoplasma è l'unica sostanza materiale della cellula a cui si può applicare propriamente il termine «protoplasma», purché però se ne escluda, in questo e in ogni altro contesto, la connotazione che ne segnò la nascita nella *Naturphilosophie*.

Gli organismi viventi pluricellulari vengono detti *metazoi* o *metafiti*. A volte si ritiene che i metazoi abbiano origine come colonie

di singole cellule, un po' come cloni la cui progenie, invece di separarsi, rimane unita. Un metazoo può essere però concepito anche come un organismo sorto per suddivisione interna di una singola cellula preesistente, un po' come l'uovo fecondato di una rana o di un riccio di mare diventa un organismo pluricellulare. I protozoi sono interi organismi la cui struttura corrisponde a quella di una cellula in un tessuto di un metazoo. Chiamare i protozoi organismi unicellulari o, come fanno taluni, «noncellulari», è del tutto indifferente; tranne naturalmente che per quei filosofi della natura che si guadagnano da vivere inventando pseudoproblemi, che poi analizzano e discutono con fervore a volte su riviste specializzate che si occupano esclusivamente di esercizi del genere.

Il termine «cellula» viene ancora usato a volte nel senso in cui lo usò Robert Hooke (1625-1703), fisico, microscopista e astronomo, che per primo osservò la struttura a cellette del sughero. Egli non riteneva, ovviamente, che il sughero fosse composto solo da piccoli spazi vuoti: era ovvia l'esistenza di una parete strutturale tra una celletta vuota e l'altra. Noi usiamo il termine nello stesso senso quando lo applichiamo a un materasso di gommapiuma: diamo per scontato che anch'esso non è composto solo da spazi vuoti.

La teoria cellulare è forse la teoria generale più importante della biologia. Il suo trionfo più sorprendente e spettacolare è il concetto di neurone, che è esaminato nei particolari alla voce *SIMPATICO, SISTEMA NERVOSO*. Proposta da Theodor Schwann (1810-1882), la teoria dice che i tessuti degli animali sono composti da cellule. L'altro nome che va ricordato qui è quello di Matthias Schleiden (1804-1881), il botanico microscopista che estese la scoperta di Schwann alle piante.

CENTRIFUGA

Quando un sistema è costituito da ingredienti di diverso peso specifico, è possibile separarne i componenti per mezzo di uno strumento noto come centrifuga. Accrescendo in pratica la forza di gravità, la centrifuga può separare rapidamente i corpuscoli di grasso dal latte, o i globuli del sangue dal plasma: separazioni che possono anche verificarsi da sé, ma molto lentamente, lasciando riposare latte o sangue alle normali condizioni di gravità ($g = 1$).

Una centrifuga analitica o preparativa funziona essenzialmente facendo ruotare un paniere contenuto in un rotore opportuno e generando una forza centrifuga (misurata in unità gravitazionali), affine a quella che si produce quando si fa roteare attorno alla testa un sasso attaccato a un pezzo di spago.

I rapidi progressi della tecnologia non sono evidenti in nessun campo quanto in quello delle apparecchiature da laboratorio: centrifughe con rotori di grande massa capaci di velocità di più di mille giri al secondo sono oggi del tutto normali in laboratorio. Per scopi speciali di ricerca sono state costruite centrifughe a turbina ad aria capaci di generare forze gravitazionali dell'ordine di 100.000 g.

CHIMERA

Come molte altre cose della mitologia classica, la chimera mette a dura prova sia la nostra pazienza sia la nostra credulità. La chimera classica, generata da Tifone ed Echidna, mostri entrambi (si trattava evidentemente di una condizione ereditaria) aveva una triplice natura: il corpo era quello di una capra, con testa di leone e coda di serpente.

In biologia si chiama chimera un animale composto da cellule di due o più provenienze genetiche diverse. Anche il *mosaico* è un animale contenente cellule di diversa struttura genetica; ma nel mosaico le differenze genetiche tra le cellule somatiche derivano da anomalie della divisione cellulare che si esercitano sui cromosomi, specialmente nelle prime fasi dello sviluppo (così certi insetti, ginandromorfi, hanno metà del corpo maschile e metà femminile); oppure, alternativamente, possono verificarsi delle mutazioni in una qualche sequenza delle divisioni cellulari da cui prende origine il corpo adulto. Il chimerismo naturale si verifica regolarmente in gemelli bicoriali nei bovini, mentre è raro negli esseri umani. I gemelli di questo tipo hanno spesso una placenta in comune, cosa che permette la commistione del sangue e delle cellule emopoietiche durante la vita fetale. Queste chimere accettano trapianti di tessuti e organi l'una dall'altra senza che si abbia rigetto, e sembrano quindi farsi beffe delle regole dei trapianti, ma ciò si deve al fatto che esse diventano semplicemente tolleranti l'una nei confronti dell'altra.

Nei polli due pulcini nati da uno stesso uovo possono essere gemelli identici o non identici: in quest'ultimo caso sono sempre chimere.

Si possono produrre chimere artificiali riproducendo in laboratorio il fenomeno che si ha spontaneamente nel caso di gemelli sin-coriali; o anche fondendo due embrioni giovanissimi a formare un singolo organismo che viene descritto come «tetraparentale». Un'altra circostanza in cui si ottengono chimere è quando, per qualche ragione (per esempio, per mezzo di irraggiamento con raggi X o con raggi gamma), le cellule emopoietiche sono state distrutte e vengono sostituite con un'inoculazione di cellule emopoietiche di un animale geneticamente diverso. Sono queste le chimere da radiazione. Le chimere costituite da elementi così disparati come la chimera classica rimangono esseri del tutto immaginari: gli sperimentalisti non tentano di produrne perché un'impresa del genere non offrirebbe informazioni importanti e sarebbe quindi inutile.

CIBERNETICA

Questo neologismo particolarmente calzante fu coniato da Norbert Wiener (in *Cybernetics*, New York 1948) dalla parola greca *kybernetes* (che vuol dire «pilota»); con questo termine Wiener intendeva indicare «l'intero ambito della teoria della comunicazione e del controllo, nelle macchine o negli animali». Nell'introdurre questa nozione, Wiener fa riferimento specialmente a uno scritto di James Clerk Maxwell, edito nei «Proceedings of the Royal Society of London» dell'anno 1868. Occupandosi di regolatori, Maxwell diede una trattazione matematica elementare della retroazione (*feedback*) positiva e negativa, richiamando l'attenzione sull'intrinseca instabilità della prima.

Nell'esercizio del controllo, lo stratagemma della retroazione ha particolare importanza, giacché la retroazione permette di controllare l'operazione che si vuol compiere mediante gli effetti dell'operazione stessa. Il *feedback*, che è universalmente presente nel mondo biologico, si dice negativo quando la retroazione del risultato ha la conseguenza di diminuire la prestazione. Si pensi all'abbassamento della temperatura corporea determinato dalla sudorazione, conseguente a sua volta a un aumento della tempera-

tura corporea. Un esempio di *feedback* positivo si ha invece nel caso di certe malattie «autoimmuni» in cui uno dei primi effetti della malattia è di riprodurre, e quindi di rafforzare, le condizioni stesse che hanno condotto in origine all'insorgere della malattia. Una lesione alla tiroide che determini l'insorgere di una tiroidite autoimmune (stimolando cioè la produzione di anticorpi anti-tiroidei che attaccano la tiroide) mette in atto un meccanismo difensivo che, attraverso la formazione di anticorpi, produce ulteriore danno alla tiroide, e quindi aggrava la malattia.

Abbiamo avuto occasione in passato di usare un esempio tratto dalla vita di ogni giorno per illustrare il concetto di retroazione positiva: a un *cocktail party* in cui tutti parlano, si è costretti ad alzare sempre di più la voce per farsi sentire dagli altri. La conseguenza di questo stato di cose è quella di far aumentare sempre più il frastuono, cosicché tutti, per farsi sentire, sono costretti a gridare ancora più forte. La retroazione positiva determina una situazione essenzialmente instabile, conducendo in casi estremi a violente oscillazioni e infine al crollo del sistema.

Non si possono enumerare tutte le situazioni in cui ci si serve della retroazione per regolare prestazioni corporee, poiché il *feedback* è onnipresente. Per limitarci a un esempio, nel sistema endocrino la liberazione degli ormoni prodotti dalla tiroide, dalla corteccia surrenale e dagli organi riproduttivi è stimolata dai cosiddetti ormoni trofici prodotti dall'ipofisi. La produzione di questi ormoni trofici viene interrotta proprio dagli ormoni di cui essi determinano la comparsa, e quindi la produzione di un certo ormone è mantenuta entro limiti fisiologici proprio dall'ormone stesso.

Come nel caso della teoria dell'informazione, anche la terminologia e i concetti della cibernetica sono stati adottati prontamente dai biologi e sono, per così dire, passati nella lingua; un segno sicuro del fatto che ce n'era bisogno.

CIRRIPEDI

Chiunque sia stato al mare o abbia osservato la chiglia di una nave avrà notato qualche cirripede. I cirripedi sono una sottoclasse dei crostacei e sono quindi imparentati con granchi, aragoste, gamberetti e simili. Essi si fissano per mezzo di ghiandole adesive e sono protetti da un guscio bivalve molto robusto e praticamente invul-

nerabile. Alla respirazione e alla nutrizione provvede il movimento continuo degli arti trasformati in ciuffi di lunghi cirri che danno a questo gruppo il suo nome.

I cirripedi si attaccano non solo a rocce, a strutture in legno sommerse e alla chiglia di navi, ma anche alla conchiglia di molluschi e alla corazza di crostacei più grandi; possono fissarsi inoltre addirittura ai denti o ai fanoni di balene. Aristotele, ritenendo che per i cirripedi, animali incapaci di muoversi, la riproduzione presentasse gravissimi problemi, giunse alla comprensibile conclusione che i cirripedi «non hanno femmina e maschio, ma se ne parla per similitudine e analogia» [*De generatione animalium*, 715b].* I cirripedi sono per lo più ermafroditi, benché ricorrano normalmente alla fecondazione incrociata; in talune specie il maschio si riduce a un semplice organo riproduttivo che parassitizza la femmina.

I cirripedi hanno aspetto così diverso dai granchi, dalle aragoste eccetera che ci si chiede com'è possibile che siano stati classificati da molto tempo con tanta fiducia fra i crostacei. L'indizio decisivo consiste nel fatto che la larva dei cirripedi appartiene a un tipo caratteristico di alcuni crostacei – il nauplio – che serve a risolvere il problema della distribuzione (altro problema comprensibile degli animali sessili).

Non tutti i cirripedi, però, sono sessili; e da un elegante cirripede, col guscio bianco delle dimensioni di una piccola cozza terminante con un peduncolo ricurvo, nel Medio Evo si immaginò che nascessero oche. Pur essendo improbabile che Linneo credesse ancora a questa superstizione, ne fece però sopravvivere il ricordo assegnando a questo crostaceo i nomi latini di *Lepas anatifera* e *L. anserifera* (che significano rispettivamente «che genera anatre» e «che genera oche»). Tra il 1851 e il 1854 Charles Darwin scrisse un ponderoso trattato sui cirripedi; in seguito gli sorsero però dubbi (che anche noi condividiamo) sull'opportunità di un'impresa così tediosa e poco illuminante.

Alcuni cirripedi sono parassiti: questo stile di vita li ha mutati a tal punto che non sembrano più né cirripedi né crostacei; anch'essi sono traditi però dalle loro larve, che sono tipiche dei crostacei.

* In Aristotele, *Opere biologiche*, a c. di D. Lanza e M. Vegetti, UTET, Torino 1971, p. 831.

I cirripedi, come si è detto, formano abbondanti incrostazioni sulla chiglia delle navi e su tutto ciò che resta immerso a lungo in acqua di mare: risultano quindi alquanto dannosi, e li si aggredisce con ultrasuoni e con una varietà di veleni. Gli ecologi non hanno tuttavia ragione di preoccuparsi: questa è una guerra che i cirripedi hanno già vinto in partenza.

CLONI

Un clone di cellule è costituito dalla progenie di una singola cellula parentale, prodotta mediante divisioni cellulari mitotiche (geneticamente simmetriche) ripetute e successive, così come oggi si ritiene avvenga nel caso dei tumori. In un certo senso, dunque, un organismo adulto è un clone disceso dallo zigote. Col termine «clone» ci si può riferire anche alla progenie di organismi viventi che si riproducono in modo asessuato. La connotazione è quella di replicazione identica. Così gemelli identici, formatisi dalla divisione in due parti eguali dell'uovo fecondato, costituiscono un clone di prim'ordine; va detto che le uova dei mammiferi si prestano in linea di principio alla clonazione, alla produzione, cioè, di un numero elevato, se non indefinito, di repliche di un prototipo. La realizzazione pratica di una tale insensata ambizione richiederebbe di far proliferare un uovo umano fecondato in condizioni di coltura, e di disporre di un sufficiente numero di giovani donne disposte a collaborare a quest'impresa, nelle quali, dopo un'opportuna preparazione ormonale, trapiantare un uovo fecondato così ottenuto. Nessuna di queste cose è particolarmente difficile da realizzare sul piano tecnico: occorre solo avere insieme l'ambizione di farlo, una quantità sufficiente di denaro, una modesta capacità tecnica e una buona dose di follia.

Nella fantascienza, però, e in una certa misura anche nel linguaggio comune, il termine «clonazione» presenta anche un'accezione diversa: la replicazione di un uovo fecondato in cui si sia introdotto un genotipo di propria scelta sostituendo al nucleo proprio dello zigote il nucleo di una cellula somatica dell'individuo – per esempio un miliardario pazzo o vanitoso – di cui si vogliono fare delle repliche. Un giornalista scientifico poco scrupoloso ha scritto un libro su quest'argomento, sostenendo di riferire una vicenda realmente avvenuta, sulle vere circostanze della quale aveva

però giurato di mantenere il silenzio, così che non ci fu alcuna possibilità di verificare né la veridicità della storia né la sincerità dell'autore. Il libro era accompagnato da un'appendice quasi-scientifica, anch'essa notevole per l'abilità con cui si intorbidano le acque: l'autore afferma di aver nascosto dietro pseudonimi alcuni noti biologi, da lui personalmente intervistati. Molti hanno creduto a questa montatura, che a parer nostro non torna a onore né dell'autore né dell'editore.

Secondo il nostro meditato parere, la clonazione con questa connotazione extra di scelta del genotipo non è realizzabile negli esseri umani. La clonazione nelle piante è il fenomeno cui questo termine fu applicato in origine, con riferimento alla ben nota propagazione per mezzo di talee, stoloni e innesti; il termine fu poi esteso all'ottenimento di intere piante (per esempio di carota) a partire da singole cellule. Quest'uso è simile agli altri che abbiamo citato, in quanto mantiene il significato di produzione asessuata di repliche geneticamente identiche.

CONTATTO, INIBIZIONE DA

La scoperta, a opera di Michael Abercrombie (1912-1979), di un semplice fenomeno di regolazione (per cui, in una coltura, i movimenti ameboidi delle cellule cessano improvvisamente quando queste entrano in contatto fra loro) spiegò molte cose rimaste fino allora misteriose (per esempio il fatto che la riparazione di ferite procurate a un tessuto in coltura procedeva solo fino a compensare la perdita). Uno speciale interesse suscitò naturalmente la dimostrazione, da parte di Abercrombie, che l'inibizione da contatto è assente nelle cellule maligne, proprietà che spiega in qualche misura il carattere invasivo di certi tumori. Le future ricerche sull'inibizione da contatto dipenderanno, è da ritenere, da una definizione, probabilmente con metodi immunologici, delle proprietà strutturali di superfici cellulari che conducono all'inibizione da contatto - o, date certe condizioni patologiche, alla sua assenza.

CORDATI

I cordati sono l'unità tassonomica comprendente tutti i vertebrati e molti gruppi minori che hanno con i vertebrati progenitori co-

muni nella storia dell'evoluzione. I cordati sono animali che posseggono tutti, in una qualche fase della loro vita, una *notocorda* o corda dorsale: una formazione assile dura ma flessibile che corre lungo tutto il corpo. Finché l'evoluzione non produsse organismi forniti di arti a coppie (una grande innovazione!), i cordati si mossero per mezzo di contrazioni sigmoidi anguiformi del tronco, che si raddrizzava per mezzo del ritorno elastico della notocorda. Nei cordati il sistema nervoso è costituito tipicamente da un tubo cavo formato dall'innalzarsi, a entrambi i lati, a mo' di spalletta, delle cellule che costituiscono lo strato più esterno dell'embrione, formando così dapprima una doccia dorsale longitudinale che, saldandosi lungo la linea mediana, forma infine un tubo con un'apertura posteriore. Il cuore è in posizione ventrale; la principale cavità corporea, il celoma, è costituita dall'ampliamento di una fessura che si forma nel «mesoderma» tra l'ectoderma all'esterno e l'intestino embrionale. È tipico dei vertebrati che il tratto anteriore del tubo digerente (la faringe) presenti delle fessure branchiali che assolvono una funzione respiratoria e che la muscolatura somatica abbia origine nella forma di numerosi segmenti disposti a entrambi i lati della notocorda per tutta la lunghezza del corpo.

I rappresentanti moderni dei cordati primitivi da cui sono probabilmente discesi i vertebrati sono la trentina di specie di anfiossi che compongono il genere *Branchiostoma*, e che a loro volta hanno una forma di sviluppo molto simile a quello dei tunicati, le cui larve hanno notocorda e tubo neurale mediano. Anche altri animali presentano alcune caratteristiche del *phylum* dei cordati: citiamo ad esempio balanoglossi e sagitte, elmintomorfi marini appartenenti ai chetognati che non hanno alcun rapporto tassonomico con i vermi.

CORONARIE, ARTERIE

Ciascuno dei due grossi vasi che garantiscono l'abbondante e continuo afflusso di sangue arterioso necessario al funzionamento del muscolo cardiaco (il miocardio). In un certo senso sono le arterie più importanti di tutte, perché dal loro corretto funzionamento dipende il funzionamento di tutte le altre. Forse a causa delle continue sollecitazioni cui sono sottoposte, le arterie coronarie sono

particolarmente soggette ai mutamenti patologici tipici delle arterie. L'insufficienza coronarica determina il più delle volte un quadro di insufficienza cardiaca; in caso di occlusione completa si ha molto spesso la morte del muscolo cardiaco (infarto del miocardio).

Nella civiltà industriale occidentale le malattie cardiovascolari sono salite da qualche tempo al primo posto tra le cause di morte.

CREAZIONISMO

Taluni scienziati non biologi hanno notato con sorpresa, e forse con fastidio, la tranquilla sicurezza con cui certi biologi si sono appropriati del termine «creazionismo». La cosa non sorprende, perché è soprattutto l'aspetto biologico del concetto di creazione quale emerge dal testo biblico ad apparire in più radicale contrasto con l'ottica della scienza; tale aspetto è inoltre anche l'unico ad aver dato occasione a una causa in tribunale. Ci riferiamo al famigerato processo in cui fu giudicato nel Tennessee un insegnante, John T. Scopes, accusato di aver violato la legge dello stato che proibiva di insegnare la teoria dell'evoluzione. Gli autori ricordano benissimo quel processo, benché i più ne conoscano solo lo scontro forense tra Spencer Tracy e Fredric March nella versione cinematografica *E l'uomo creò Satana* [1960].

Per i biologi, quindi, il creazionismo è la credenza che Dio abbia creato singolarmente ogni specie animale e vegetale che oggi esista al mondo, mentre secondo l'ortodossia biologica le specie oggi esistenti sarebbero il risultato della differenziazione e della divergenza esercitatesi, nel corso di centinaia di milioni di anni, sulle loro varie linee biogenetiche: un'ipotesi, questa, che è compatibile con tutti i dati sperimentali. Ma la creazione speciale degli organismi è solo parte della storia. Che dire infatti dei primi versetti della *Genesi* in cui si dà risposta alla domanda: «Come ebbero inizio tutte le cose?». Senza dubbio il creazionismo deve avere la sua risposta, e lo stesso vale per il problema dell'origine della vita: un problema su cui Darwin pensava fosse inutile speculare.

Noi siamo sorpresi dall'ostinazione con cui i creazionisti si aggrappano a un creazionismo letterale. Così facendo non si rendono conto che l'ipotesi evoluzionistica ha un respiro molto più vasto e grandioso – in accordo con ciò che C.S. Lewis chiamò pietà

razionale – che suscita in molti un senso di reverenza. È un peccato che si viva ancor oggi sotto l'oscura influenza della tensione essenziale introdotta dal vescovo Samuel Wilberforce («l'untuoso Sam») fra scienza biologica e religione.

Un'altra considerazione è che il creazionismo nella sua accezione biologica – e soprattutto certi suoi corollari, come il calcolo elaborato dall'arcivescovo Ussher (1581-1656) secondo cui la creazione sarebbe avvenuta nel 4004 a.C. – può essere confutato empiricamente e ridotto a semplice mito. Nella mitologia norvegese, per esempio, il sole è inseguito attraverso il cielo da due lupi affamati, Sköll e Hati, che ne causano eclissi parziali o totali strappandone a morsi una parte o inghiottendolo intero. I primi versetti della *Genesi* non possono essere confutati empiricamente e dovrebbero essere quindi classificati forse come letteratura fantastica piuttosto che come mito. Le prove di carattere scientifico hanno scarsa rilevanza per la decisione di accettarli o no; non possiamo infatti concepire un confine senza concepire al tempo stesso ciò che sta al di qua e al di là di esso: come potremmo quindi definire in termini scientifici il confine fra l'essere e il nulla, avendo in mente che il nulla non può avere alcun contenuto sensibile e non può essere quindi oggetto di giudizi fondati empiricamente? Queste sono questioni di fede; esse si pongono fuori della scienza e l'opinione popolare che la scienza abbia confutato il racconto biblico della creazione è dunque filosoficamente insostenibile.

CROMOSOMI

I cromosomi sono il veicolo dell'informazione genetica in tutti gli organismi tranne i più semplici, che sono noti di conseguenza come procarioti. Corpuscoli capaci di autoriprodursi dell'ordine di grandezza del nanometro (un nanometro è uguale a un milionesimo di metro), i cromosomi si trovano nel nucleo delle cellule. Essi hanno aspetto molto vario e l'immagine convenzionale che li vuole più o meno filiformi non si applica sempre. Certi sono grossi e come spinosi, simili a bruchi; altri hanno un aspetto nastriforme, come le tagliatelle. La sicurezza con cui affermiamo che i cromosomi sono i vettori dell'informazione genetica si fonda su numerose prove di varia natura, tra cui la prima e più importante è la correlazione esatissima tra il comportamento osservato dei cromoso-

mi e il comportamento postulato dei «fattori ereditari» di Mendel; così i cromosomi si presentano a coppie, e un componente di ciascuna coppia è derivato dallo stesso genitore. Nella formazione dei gameti i cromosomi si segregano, e solo un cromosoma di ciascuna coppia entra a far parte di ciascun gamete. I gameti hanno quindi solo metà del numero di cromosomi parentale; si parla in proposito di numero aploide, in contrapposizione al normale numero diploide.

La riproduzione dei cromosomi è l'atto di replicazione primordiale in biologia: un cromosoma non viene sintetizzato *ex novo* ma viene per così dire montato come copia di un cromosoma preesistente; in altre parole, un cromosoma può formarsi solo se esisteva in precedenza un altro cromosoma. Lo stesso vale per altri elementi costitutivi della cellula quali i mitocondri e i cloroplasti, che sono anch'essi autoriproducentisi. Vedi in proposito la voce NUCLEICI, ACIDI.

Quando nella fecondazione i gameti si uniscono, i cromosomi tornano a disporsi a coppie, ricostituendo così il numero diploide. Quando si giunse a stabilire che l'associazione o *linkage* (vale a dire, l'acquisizione per eredità di fattori mendeliani non singolarmente, ma in blocco) è un fenomeno genetico, si apprese con soddisfazione che il numero dei gruppi di associazione è eguale al numero delle coppie cromosomiche, cosicché il cromosoma poteva essere considerato un'incarnazione fisica del gruppo di associazione. Il famoso embriologo e genetista americano Thomas Hunt Morgan (1866-1945) fu il primo a dimostrare che i cromosomi sono differenziati longitudinalmente. L'avvento dei microscopi ad alta risoluzione rese infine possibile l'identificazione, nella struttura filamentosa del cromosoma, di varie singolarità strutturali, che spesso poterono essere correlate con effetti genetici specifici; i geni come tali non erano però visibili, essendo semplicemente singolarità di combinazione locali dei nucleotidi dell'acido nucleico.

Nonostante le prove evidentissime della partecipazione dei cromosomi al processo della trasmissione ereditaria, alcuni genetisti restavano scettici, o tali si professavano. Uno di questi era il genetista inglese William Bateson, che col testo fondamentale *Mendel's Principles of Heredity* (Cambridge 1909) diede un grande contributo alla conoscenza del mendelismo nel mondo anglosassone. Forse a Bateson stava a cuore che ci si rendesse conto del

fatto che l'esistenza dei cromosomi e di quelli che in seguito sarebbero stati chiamati geni poteva essere inferita da prove di natura genetica senza far ricorso al microscopio. Bateson e altri di parere analogo trovarono molte ragioni per contestare l'assunto compiuto che i cromosomi fossero i veicoli dei fattori mendeliani. I cromosomi sono visibili quando la cellula si divide ma non, di norma, nella cellula in interfase tra una divisione e l'altra. A un certo punto si pensò che potesse essere formalmente corretto avanzare qualche dubbio su quest'apparente scomparsa; si trattava però di false preoccupazioni, poiché alla luce dei dati di ordine genetico che richiedevano una continuità cromosomica anche tra una divisione e l'altra, nessun genetista aveva veri dubbi. Oggi sappiamo che alcuni cromosomi *possono* essere visti all'interno del nucleo della cellula in interfase (in particolare, cosa utilissima, il cromosoma inattivo X femminile, chiamato anche corpo di Barr dal nome del suo scopritore Murray Barr).

Chimicamente i cromosomi sono composti da una desossiribonucleoproteina: un composto, simile a un sale, fra l'acido nucleico e una proteina basica come un istone, di cui si ignora la funzione genetica, sebbene le grandi linee del funzionamento dei cromosomi siano abbastanza chiare. I cromosomi costituiscono un sistema per impacchettare l'acido nucleico così da evitare una varietà di incidenti che sconvolgerebbero il processo essenzialmente conservativo della trasmissione ereditaria mendeliana e renderebbero impossibile il processo ordinato di sviluppo dell'organismo (come avviene nel caso di ingresso o fuoriuscita casuali di DNA dal nucleo, o di infezione incrociata degli acidi nucleici di cromosomi contigui). Anche i cromosomi possono andare soggetti a volte a incidenti che hanno effetti genetici riconoscibili e spesso molto deleteri; può ad esempio aumentare il numero dei cromosomi al di sopra della condizione normale o euploide. Questo fenomeno è noto come poliploidia, e a volte comporta la presenza di un cromosoma triplo, laddove dovrebbe essere soltanto doppio, come avviene, nell'uomo, nel caso del cromosoma 21 nella sindrome di Down. I cromosomi hanno anche un ruolo nella determinazione del sesso (vedi «Sesso, determinazione del» in GENETICA ED EMBRIOLOGIA, TERMINI DI), che avviene a livello genetico.

Poiché i fisici hanno dato un grande apporto allo studio degli acidi nucleici, val la pena di ricordare che fu proprio un fisico, Er-

win Schrödinger (1887-1961) a descrivere per primo il cromosoma come la materializzazione di un messaggio in codice che definisce i caratteri ereditari.* Quest'immagine divenne molto familiare quando ci si rese conto dell'importanza della teoria dell'informazione per la biologia.

CURARO

Il curaro è un veleno che gli indios del Sudamerica estraggono – per intingervi le loro frecce – dalla radice di certe piante velenose, fra cui specialmente la *Strychnos toxifera*. Assunto per via parenterale (vale a dire, non oralmente), questo veleno blocca la connessione tra nervo motorio e muscolo. I primi a essere paralizzati sono i muscoli che muovono il globo oculare, poi gli altri muscoli volontari e infine i muscoli del diaframma; subentra infine la morte per insufficienza respiratoria.

Il curaro è molto usato in chirurgia, dove lo si impiega per indurre il rilassamento muscolare. Si tiene sempre a portata di mano della neostigmina (un anticolinesterasico) da usarsi in casi d'emergenza. I sintomi dell'avvelenamento da curaro sono sotto certi aspetti simili a quelli della miastenia grave.

* In *What is Life?*, Cambridge 1944; trad. it. *Che cos'è la vita*, Sansoni, Firenze 1947, nuova ed. 1978.

DEFINIZIONE DELLA VITA E DI ALTRI TERMINI

In certi contesti formali – tra cui, per esempio, la logica matematica, in cui la definizione è una regola per sostituire uno o più simboli con altri – le definizioni hanno un'importanza cruciale, mentre nella vita d'ogni giorno e in certe scienze, come la biologia, vi si attribuisce un'importanza certamente eccessiva. Non è assolutamente vero che non sia possibile alcun discorso a meno che tutti i termini tecnici non siano esattamente definiti; se fosse vero non esisterebbe la biologia.

Uno fra gli scopi principali della definizione è quello di stabilire l'accordo e la buona armonia; cosa che, però, talvolta si viene a pagare troppo: la «definizione», come dice del resto il termine stesso, si propone di dire una parola definitiva, e questa sua ambizione è spesso ingiustificata e fuorviante, finendo col limitare la mente invece di liberarla. Molti non-biologi sono convinti che negli istituti e nelle facoltà di biologia una delle preoccupazioni principali sia quella di condurre discussioni animate e polemiche sulla definizione del concetto di vita. Quest'argomento non viene invece in realtà neppure sfiorato, se non forse per spregiare gli ingenui convinti che, se si giungesse a una definizione universalmente accettata del concetto di vita, si perverrebbe a una comprensione migliore della biologia. I biologi hanno già una comprensione «di lavoro» di ciò che è la vita, la quale è sufficiente per i loro scopi; noi non crediamo che la mancanza di una definizione più formale ostacoli nessuna delle ricerche attualmente in corso. Il guaio è che il termine «vita», così come molti altri termini tecnici del linguaggio scientifico, è tolto di peso dal lessico non scientifico ed è usato in contesti scientifici molto lontani da quelli che possono darsi nel linguaggio comune.

Senza dubbio nella vita reale possono presentarsi delle situazioni in cui una definizione della «vita» (o comunque un'esatta descrizione di tutto ciò che connota l'aggettivo «vivente») è davvero importante. Pensiamo, per esempio, a una situazione in cui si debba decidere se utilizzare o meno per un trapianto un rene o un altro organo di un potenziale donatore il cui cuore stia ancora funzionando. In questo caso una decisione dipende da un certo numero di giudizi di carattere tecnico che rientrano in una sfera molto lontana dalle voci di un dizionario linguistico: occorre infatti valutare specialmente la funzione cerebrale, e se la condizione del possibile donatore sia reversibile o no. Questi sono problemi fattuali, empirici che il ricorso a un dizionario non aiuterà a risolvere.

Un amore eccessivo per le definizioni è molto spesso una manifestazione di una convinzione profonda – una delle molte chimere filosofiche di cui si fa gioco Lewis Carroll nelle incantevoli satire *Alice nel paese delle meraviglie* e *Alice nel mondo dello specchio* – che ogni parola abbia un suo significato interno che si può far emergere con pazienti riflessioni e ricerche, distinguendolo da significati falsi o contraffatti che possono avere usurpato il posto dei significati veri; a volte persone ingenuie si pongono quindi domande sulla definizione che rivelano il loro asservimento a quest'illusione: «Qual è il vero significato della parola "vita"?», si chiedono. Non c'è un vero significato. C'è un *uso*, che serve abbastanza bene ai fini dei biologi ricercatori, e che non solleva mai risse né dispute.

DEMOGRAFIA

Questa branca della scienza che tratta della crescita, della riproduzione e dei caratteri statistici concernenti la vita delle popolazioni venne in primo piano all'attenzione del grosso pubblico negli anni trenta. I timori diffusi che il mondo occidentale fosse condannato a una morte lenta a causa del declino demografico furono soppiantati non molto tempo dopo dalla nuova prospettiva che i progressi della medicina, insieme all'elevato tasso di natalità delle nazioni in via di sviluppo, conducessero a un aumento esplosivo della popolazione, altrettanto catastrofico, sebbene in modi diversi, quanto il declino demografico.

La demografia, come la biologia dello sviluppo, richiede una certa pignoleria nell'uso dei termini tecnici, come sa qualsiasi insegnante che abbia udito gli studenti definire il quoziente di mortalità «il numero di persone su mille che muoiono». Diamo qui di seguito la definizione di alcuni fra i termini e le espressioni più bistrattati:

Parametro malthusiano. L'espressione, di R.A. Fisher, sostituisce il «tasso effettivo di incremento naturale» di A.J. Lotka, nel tentativo di rappresentare in un'unica cifra la vitalità riproduttiva di una popolazione. Se b_x è il quoziente di natalità e l_x la probabilità di vivere fino a x anni d'età, il parametro malthusiano m è dato dalla soluzione dell'equazione

$$\int_0^{\infty} e^{-mx} l_x b_x dx = 1.$$

Secondo Lotka il parametro malthusiano migliorava, superandolo, il tasso netto di riproduzione; esso è però esposto alle stesse obiezioni.

Quoziente di mortalità. In demografia la nozione di quoziente di mortalità sembra abbastanza semplice; occorre però tener sempre presente la natura della variabile indipendente in funzione della quale il quoziente viene espresso. A seconda degli usi cui è destinato, o delle inferenze che se ne devono trarre, il quoziente di mortalità può essere espresso o come il numero di persone per mille che muoiono in un anno di calendario (per esempio, nel 1986) o a una certa età (per esempio nel settantesimo anno d'età). Ma la misura che fornisce forse il massimo d'informazione è quella costituita dal quoziente specifico per età: il numero di persone che muoiono in età compresa fra il compimento di x anni e il compimento di $x + 1$, espresso come frazione di coloro che sono ancora vivi all'età di x anni. A volte il quoziente specifico di mortalità viene chiamato anche forza o intensità di mortalità.

Speranza di vita. La registrazione delle nascite e dei decessi che è comune in tutti i paesi civili: permette a un ufficio centrale di

statistica di calcolare la speranza di vita media di un individuo alla nascita o a un'età qualsivoglia. Il calcolo è in linea di principio molto semplice: esso implica stime, sulla base dei dati a disposizione, sul numero totale degli anni vissuti da tutti gli individui nati in uno stesso anno, e la divisione della somma per il numero degli individui.

La speranza media di vita alla nascita, che è usata spesso come criterio per valutare il benessere e il livello delle cure mediche di cui gode una popolazione, è enormemente aumentata negli ultimi secoli. Questo risultato è dovuto essenzialmente alla diminuzione della mortalità infantile (conseguenza a sua volta dei progressi della medicina e del miglioramento delle condizioni igieniche, che congiuntamente hanno molto abbassato la mortalità per malattie infettive).

La speranza media di vita per le altre classi d'età non è aumentata in modo così vistoso. Gli anziani godono oggi tuttavia di una situazione più vantaggiosa: basti pensare per esempio alla maggior resistenza conferita da malattie infettive contratte in precedenza, una sorta di saggezza immunologica, che si aggiunge a una saggezza più convenzionale (quale si esprime ad esempio nel proverbio: neppure gli asini cascano due volte nello stesso fosso).

<i>Periodo</i>	<i>Sesso</i>	<i>Speranza media di vita (in anni) in Svezia</i>		
		<i>alla nascita</i>	<i>a 60 anni</i>	<i>a 80 anni</i>
1755-76	Maschi	32,20	12,24	4,27
	Femmine	35,70	13,08	4,47
1856-60	Maschi	40,48	13,12	3,12
	Femmine	44,15	14,04	4,91
1936-40	Maschi	64,30	16,35	5,25
	Femmine	66,90	17,19	5,49
1971-75	Maschi	72,07	17,65	6,08
	Femmine	77,65	21,29	7,28

Le femmine hanno una speranza di vita media maggiore dei maschi in tutte le classi d'età, compreso forse il periodo che va dal concepimento alla nascita.

I dati più completi di cui disponiamo sono quelli relativi alla Svezia. La tabella qui sopra vale senza differenze rilevanti anche per l'America del Nord e la Gran Bretagna e illustra bene tutte le osservazioni fatte.

Tasso netto di riproduzione. Fu Robert Kuczynski a proporre per primo una famosa soluzione a un problema demografico intrinsecamente insolubile: esprimere, cioè, il vigore riproduttivo e le prospettive di crescita futura di una popolazione mediante un unico valore aritmetico – il tasso netto di riproduzione (TNR). (È un po' come prendere la temperatura a un paziente con un termometro clinico, come se fosse possibile prendere la temperatura di una nazione nello stesso modo.) Il TNR può essere considerato quindi la risposta alla domanda: che probabilità ha un certo individuo attualmente vivente di essere rappresentato da una persona della stessa età nella prossima generazione? Se limitiamo la nostra attenzione ai nati di sesso femminile, il TNR può essere espresso come il rapporto dei nati vivi di sesso femminile nelle generazioni successive: se questo valore è uguale a 1, la popolazione rimane costante; se è minore di 1, la popolazione diminuisce; se è maggiore di 1, la popolazione aumenta. I demografi moderni non accettano il principio di misurare la vitalità riproduttiva di una nazione in questo modo. La valutazione con una sola cifra di quantità complesse* è condannata all'insuccesso in questo come in molti altri contesti.

DIPNOI

I dipnoi sono pesci polmonati che vivono in fiumi o laghi e che, come indica la loro designazione zoologica di *Dipnoi* o quella alternativa di *Dipneusti*, dispongono di due forme distinte di respirazione. Oltre a «respirare», come gli altri pesci, ossigeno in soluzione nell'acqua, sono in grado di respirare ossigeno atmosferico

* Vedi P.B. Medawar, *Pluto's Republic*, Oxford 1982, pp. 167-193.

per mezzo di polmoni originatisi come modificazione della loro vescica natatoria, la quale acquistò una struttura alveolare sostanzialmente simile a quella dei polmoni. A quest'abitudine insolita si accompagna una varietà di interessanti modificazioni vascolari: in questi pesci c'è una qualche separazione funzionale fra circolazione polmonare e sistemica, ed è presente anche una circolazione arteriosa coronarica. Il prosciugamento di fiumi e laghi durante l'estate induce i dipnoi in uno stato di quiescenza o estivazione nel quale subentra la respirazione polmonare.

I progenitori degli animali intermedi fra pesci e anfibi devono essere stati sotto molti aspetti assai simili ai dipnoi moderni, illustrando in questo modo la transizione fra ambienti acquatici e terrestri.

La distribuzione geografica dei dipnoi attuali (specie di *Lepidosiren* in Sudamerica, specie di *Protopterus* in Africa e *Neoceratodus* in Australia) è del tutto in accordo con la nozione che i continenti moderni derivarono da una singola massa continentale, il Gondwana, che si frazionò in conseguenza della deriva dei continenti.

DISEGNO DIVINO, ARGOMENTO DEL

L'argomento assume due forme, la più nota delle quali intende dimostrare l'*esistenza* di Dio a partire dalla constatazione di un disegno razionale nel mondo. In breve, l'argomento sostiene che la natura manifesta in ogni suo aspetto una funzionalità ed efficacia che sono la prova di un disegno intenzionale altrettanto chiaro di quello che vediamo all'opera in un orologio, in una macchina o in altre opere dell'uomo. Ma ogni progetto, ragionava William Paley (1743-1805), presuppone un progettista: e chi potrebbe essere un tal progettista se non l'Essere Supremo, Dio? («Ma perché mai uno solo?» si chiedeva scettico Hume, riflettendo sull'argomento del disegno divino.)

La seconda forma dell'argomento del disegno divino si propone di dimostrare non solo l'esistenza, ma anche la benevolenza di Dio. Non occorre essere un monadologo accanito come Leibniz (1646-1716) per rendersi conto che il mondo avrebbe potuto assumere una forma diversa da quella che oggi vediamo; ma solo un empio potrebbe immaginare che Dio, se davvero ha creato questo mondo, abbia voluto creare altro che il mondo migliore possibile.

È noto che Voltaire scrisse il *Candide* per confutare polemicamente quest'idea. Pur essendo sotto molti aspetti abbastanza noioso, il libro è più noto – come del resto avviene per tante altre satire – dell'idea di cui si prende gioco: l'idea, cioè, che questo sia il migliore dei mondi possibili.

Questa seconda forma dell'argomento del disegno divino è davvero ambiziosa: essa si propone di inferire dall'esistenza di un disegno intenzionale nel mondo non solo l'esistenza di Dio, ma anche alcuni tratti della Sua personalità, nella fattispecie la Sua bontà. La dimostrazione della bontà divina fu il massimo desiderio del Molto Onorevole e Reverendo Francis Henry Egerton, conte di Bridgewater, che morendo nel 1829 lasciò nel suo testamento la allora munifica somma di 8000 sterline, da investirsi in titoli azionari di sicuro affidamento, allo scopo di stampare e diffondere, con i dividendi, otto trattati, ognuno tirato in mille copie, «sulla Potenza, Saggezza e Bontà di Dio, quali si manifestano nella Creazione; illustranti l'opera divina con ogni sorta di ragionevoli argomentazioni, quali ad esempio la varietà e la formazione delle creature di Dio nei regni animale, vegetale e minerale; gli effetti della digestione, e quindi della trasformazione; la costruzione della mano umana, e un'infinita varietà di altre argomentazioni; e ricorrendo anche a scoperte antiche e moderne nelle arti, nelle scienze e in tutte le letterature».

Con la pietà prevedibile – tanto più in quanto espressamente richiesta dai regolamenti – nel direttore di un college, di Oxford o Cambridge che fosse, William Whewell si chiese nel suo *Bridge-water treatise* se «l'intera massa della Terra, da polo a polo e dalla circonferenza al centro» non potesse essere «usata per mantenere un bucaneeve nella posizione più adatta a farlo crescere nel modo migliore». Questa citazione – tratta dall'ottimo *Darwin* di Jonathan Howard (Oxford 1982), compendia lo spirito dei trattati Bridgewater, documenti che uno Hume moderno sbrigherebbe alla svelta. Un'altra gemma, paragonabile a quella di Whewell, fu riesumata da Sir George Porter* dai taccuini di Davy conservati alla Royal Institution:

* Vedi *Sir Humphrey Davy - Poet*, «Interdisciplinary Science Reviews»³ (1978), p. 262.

*The Eternal laws**Preserve one glorious wise design;**Order amidst confusion flows,**And all the system is divine.*

(Le eterne leggi/ Conservano un solo disegno glorioso e saggio;/
L'ordine scorre costante fra il caos,/ E l'intero sistema è divino.)

In realtà dalla natura non si può inferire la bontà di Dio più di quanto si possa capire la situazione finanziaria di un'azienda che presenti agli azionisti un bilancio in cui compaiano solo gli attivi. È questo il trucco filosofico dei trattati Bridgewater: si mettono in tutta evidenza i successi, ma gli errori della natura, gli adattamenti approssimativi o insufficienti, e anche i costi dell'adattamento – costi di sangue, di dolore, di morte – vengono passati sotto silenzio. Non ci meraviglia che, nei trattati Bridgewater, Dio faccia una così bella figura.

DOWN, SINDROME DI

È questo il termine approvato dalla comunità medica per l'affezione congenita volgarmente nota come mongolismo, così chiamata in origine a causa della convinzione di John L.H. Down che essa rappresentasse un esempio di atavismo, interpretazione favorita dalla presunta somiglianza fra il volto largo e piatto e gli occhi a mandorla che caratterizzano a volte alcuni bambini affetti da quest'anomalia e la facies mongolica. Benché la sindrome di Down sia caratterizzata soprattutto da ritardo mentale e ipotonia muscolare, sono presenti anche varie altre anomalie degli organi interni associate a una vulnerabilità generale alle infezioni e ai traumi psichici. Benché i bambini che presentano la sindrome di Down siano in qualche misura educabili, raramente giungono a poter fare a meno di cure speciali e la loro speranza di vita è inferiore a quella dei bambini normali.

La frequenza della sindrome di Down nella popolazione generale, che è di più di un caso su mille nati vivi, conosce un forte aumento all'aumentare dell'età della madre. Oggi perciò in ostetricia si raccomanda alle gestanti di età superiore ai trent'anni e, *a fortiori*, ai quaranta, nella cui classe d'età la sindrome di Down può

essere presente in più dell'1 per cento dei nati vivi, di sottoporsi all'amniocentesi.

La sindrome di Down è la conseguenza di una grave anormalità cromosomica, che può assumere due forme: o la *trisomia 21* (la presenza in triplice numero del cromosoma 21, che normalmente è solo doppio), o la presenza in eccesso del cromosoma 21 a causa della traslocazione ad esso di materiale da un altro cromosoma. È la forma trisomica della sindrome di Down ad aumentare di frequenza con l'età della madre; in quella conseguente a traslocazione la correlazione è meno stretta, ma a differenza dell'altra forma l'anomalia può trasmettersi per via ereditaria.

Le anormalità cromosomiche non possono essere corrette. Il trattamento terapeutico della sindrome di Down si limita a cure generali e a un'assistenza sociale, che, in paesi civili, deve estendersi anche alle famiglie di chi ne è colpito.

DREPANOCITICA, ANEMIA

L'emoglobina S è una variante anormale dell'emoglobina A: individui eterozigoti per l'emoglobina S, avendo la costituzione AS, soffrono di una condizione solo lievemente invalidante nota come carattere drepanocitico o falcemico, in cui le emazie, in condizioni di carenza di ossigeno, tendono a contrarsi in forma di falce o ad adottare altre forme anormali. Un quarto circa dei figli di genitori affetti entrambi dal carattere drepanocitico saranno omozigoti con la costituzione SS. Questi individui sono affetti da anemia drepanocitica o falciforme, una malattia gravemente invalidante, accompagnata da gravi anormalità del fegato e dei reni.

Possiamo ben chiederci come mai il gene che codifica la trasformazione dell'emoglobina A in emoglobina S non sia stato spazzato via dalla selezione naturale. La risposta è molto interessante. Questo gene è molto diffuso in parti del mondo in cui la malaria è o era endemica, specialmente nell'Africa Occidentale e nel bacino mediterraneo. Il gene persiste perché gli eterozigoti affetti dal tratto falcemico godono di una certa misura di resistenza nei confronti di una delle forme più gravi di malaria, quella causata dal *Plasmodium falciparum*. Questo vantaggio selettivo è sufficiente a compensare la perdita del gene per opera della morte delle vittime omozigoti dell'anemia drepanocitica.

Ecco un classico esempio di polimorfismo conservato dal vantaggio selettivo di un eterozigote. Abbiamo qui anche un esempio mirabile dell'efficacia dell'eufenica, in quanto, se l'ambiente viene migliorato al punto da eliminare la minaccia della malaria, il gene che codifica l'emoglobina S perderà il suo vantaggio selettivo e, nel corso di molte generazioni, si avvierà lentamente a sparire. Questo è, in effetti, ciò che pare stia accadendo nel Sud degli Stati Uniti. In questo caso si può toccare con mano l'erroneità della nozione sostenuta da alcuni secondo cui un miglioramento dell'ambiente finirebbe col condurre necessariamente a un deterioramento genetico.

ECOLOGIA

I termini «ecologia», «economia» ed «ecumenismo» derivano tutti dalla parola greca *oikos*, che significa «casa». L'ecologia, che è al vertice della gerarchia fra le scienze della vita, ha in effetti a che fare con l'economia della grande casa della Natura, di cui cerca di rivelare la struttura nello spazio e nel tempo, e specialmente le interazioni degli animali e delle piante fra loro e degli uni con le altre. L'ecologia ha quindi un ambito immenso, utilizzando l'intero contenuto empirico di tutte le scienze sottostanti nella gerarchia, oltre che, naturalmente, i concetti che le sono contestualmente peculiari.

L'ordinamento gerarchico della biosfera è esaminato nelle voci GERARCHIA e RIDUZIONE. Altrettanto caratteristico è l'ordinamento ciclico della biosfera: l'intera natura vivente è pervasa da cicli. Pensiamo, in primo luogo, al lento alternarsi delle stagioni cui si sovrappongono i cicli più brevi dei mesi, delle maree, del giorno e della notte. Il quadro complessivo è formato dunque da cicli all'interno di cicli all'interno di altri cicli, fino al ciclo minimo e più rapido: la divisione cellulare nella crescita, nel processo continuo della sostituzione di cellule e della riparazione dei tessuti e in alcuni processi fisiologici come la produzione di anticorpi. Anche il movimento dei componenti elementari della biosfera, dagli organismi all'ambiente e viceversa, e da organismo a organismo, ha natura ciclica. Il carbonio, l'ossigeno e l'azoto non restano mai immobili, ma si muovono continuamente nella biosfera.

Così, nella catena alimentare c'è un passaggio di composti dell'azoto da organismo a organismo; infine l'azoto è restituito al suolo, o all'atmosfera, in conseguenza della decomposizione di organismi e dei loro escrementi per opera di batteri denitrificanti,

che restituiscono l'azoto molecolare all'atmosfera. L'azoto atmosferico viene ricatturato dai microrganismi presenti nelle radici delle leguminose, che sono in grado di utilizzarlo direttamente, nonché dalle fabbriche di fertilizzanti chimici, che trasformano l'azoto atmosferico in composti ammoniacali e nitrati utilizzabili dalle piante, attraverso le quali l'azoto passa anche ad altri organismi viventi. È questo il cosiddetto «ciclo dell'azoto»: esso è importantissimo perché il movimento ciclico dell'azoto è il fattore limitante in quello che possiamo concepire come il «metabolismo» della biosfera (usando il termine in un senso non molto lontano dal suo uso in relazione a singoli organismi). I cicli dell'ossigeno e del carbonio sono strettamente connessi e s'intersecano nel processo della fotosintesi, in cui l'energia del sole trasforma acqua più anidride carbonica in carboidrati; al processo è legata la liberazione di ossigeno molecolare, che è usato nella respirazione sia degli animali sia dei vegetali.

Uno fra i compiti principali dell'ecologia è l'analisi dei cicli degli elementi e la preparazione di bilanci ad essi relativi. È dallo studio di questi bilanci che dobbiamo farci guidare per risolvere problemi di portata planetaria come la conservazione dell'acqua e i pericoli connessi all'aumento dell'anidride carbonica nell'atmosfera causato dalla scala enorme di processi industriali che implicano la combustione e quindi il consumo di ossigeno. Nel carbone e negli altri combustibili fossili è racchiuso più carbonio che in tutti gli organismi viventi presenti nella biosfera. Le piante, ovviamente, fanno uso dell'anidride carbonica atmosferica; ed è ancora all'ecologia che dobbiamo guardare per stimare le conseguenze della distruzione delle foreste e tentare di porvi rimedio. Dal punto di vista del metabolismo biosferico è quantitativamente di somma importanza il ruolo del mare, e specialmente delle minuscole piante marine delle acque superficiali (il fitoplancton).

Ecologia, meteorologia e geofisica hanno quindi molti interessi in comune. La moderna ecologia ha fatto passi da gigante dai giorni in cui un biologo armato di una cassetta per campioni di piante, lente d'ingrandimento, retino per farfalle e una scorta di sandwich si riteneva un ecologo se annotava quali e quanti organismi popolavano uno stagno, una pozza, un bosco ceduo o un campo arato. Oggi l'ecologia si è fatta molto più complessa e ricorre a tecniche che non sono più alla portata del dilettante. S'im-

piegano minuscole radio trasmettenti per stabilire i percorsi degli animali in movimento; programmi su scala mondiale di marcatura e ricattura scoprono i percorsi delle grandi migrazioni di animali e offrono un aiuto prezioso per il compito estremamente difficile di compilare tavole di sopravvivenza per organismi viventi in un ambiente naturale. Il concetto di «naturale» è cruciale perché l'ecologia, così come l'etologia, vuole studiare il mondo della natura, il mondo così com'è, e non le simulazioni che se ne possono fare a scopo sperimentale. Anche se a volte si verificano catastrofi naturali e grandi movimenti di terra e acqua che potrebbero essere concepiti come «esperimenti della natura», l'ecologia non è una scienza sperimentale in senso baconiano: essa non ha bisogno di costruire situazioni che non si danno in natura, a differenza della chimica, in cui si operano accostamenti di sostanze e di eventi quali non avvengono in natura. È fonte per noi di grande soddisfazione il fatto che oggi l'ecologia abbia acquistato un peso politico che le dà slancio; slancio che le viene anche da molte iniziative, che si può sperare non siano concepite in vista del vantaggio dei politici o dei partiti che questi rappresentano.

ELETTROFORESI

Le macromolecole biologiche hanno di regola una carica elettrica, positiva o negativa a seconda dei casi, ed è a causa di tale carica che in una soluzione migrano verso l'uno o l'altro polo di un campo elettrico applicato. L'elettroforesi è dunque per le particelle colloidali ciò che l'elettrolisi è per i composti chimici inorganici che, in soluzione, si dissociano in ioni positivi e negativi. L'elettroforesi, introdotta da Arno Tiselius, si è rivelata utilissima per identificare e isolare macromolecole biologiche. Una variante particolarmente utile è l'elettroforesi in un gel, anziché in un liquido; questa tecnica permette di separare varie classi di composti tagliando con una lama sottile il gel in strisce, una delle quali può contenere il composto cercato.

EMBRIONALE, ASSE

Nel corso dello sviluppo, tutti i vertebrati passano per un periodo embrionale chiamato neurula, uno stadio in cui la larva ha molti

fra i caratteri di un cordato primitivo. L'embrione è un organismo di forma allungata, a simmetria bilaterale, un po' appiattito nel senso della larghezza, con un capo ben definito che mostra organi di senso appaiati; esso presenta un'ampia cavità interna (il celoma) tra le cellule che formano lo strato intermedio (il mesoderma). Il rene prende forma dal tratto di celoma che collega le cavità delle masserelle muscolari striate con la principale cavità periviscerale in posizione ventrale. La formazione del tubo neurale è descritta alla voce **CORDATI**. Le strutture assiali sono ovviamente costituite dal tubo neurale e dalla notocorda.

ENDOCRINE, GHIANDOLE

Le ghiandole del tipo a noi più familiare sono quelle che versano le proprie secrezioni in un dotto che conduce dalla ghiandola al punto in cui le sostanze secrete esercitano la propria azione. La parotide, una ghiandola salivare, è una di queste ghiandole «esocrine»: il suo secreto passa infatti attraverso un dotto e perviene nella bocca.

Le secrezioni di altre ghiandole (per esempio le surrenali) agiscono non solo localmente, ma a livello sistemico. Queste sono le ghiandole endocrine: prive di dotto, versano il loro secreto direttamente nel sangue o nella linfa. Varie ghiandole sono a un tempo esocrine ed endocrine: oltre a produrre succhi gastrici, i cosiddetti isolotti di Langerhans, presenti nel pancreas, producono un ormone, l'insulina, e lo versano nella circolazione sanguigna; analogamente le gonadi non producono solo cellule germinali ma anche altre secrezioni interne che influiscono sullo sviluppo e sul comportamento sessuale.

Lo sviluppo di varie ghiandole endocrine nel corso dell'evoluzione presenta un certo numero di tratti comuni, tra cui uno dei più notevoli è il fatto di essere discese per evoluzione da organi divenuti superflui, con cui sono dunque omologhe. Per esempio la tiroide, così importante nella regolazione del metabolismo, è nei vertebrati terrestri moderni l'esito dell'evoluzione di un organo che un tempo faceva parte dell'apparato di raccolta del cibo nei cordati più primitivi: una fossa o doccia secernente nella faringe un secreto viscoso che consentiva di catturare le minuscole particelle alimentari sospese nell'acqua che passava nella faringe du-

rante la respirazione. Inoltre l'importantissimo elemento anteriore dell'ipofisi (importante perché agisce su altre ghiandole endocrine) deriva dall'evoluzione di un naso mediano funzionale che anticamente metteva in comunicazione il palato con la parte basale dell'encefalo.

In che modo questi organi arcaici poterono evolversi fino a svolgere un'importante funzione endocrina?

È molto improbabile che la funzione endocrina sia stata acquisita *ex novo*: è molto più ragionevole supporre che, divenuta superflua la sua funzione principale, l'organo abbia semplicemente conservato una funzione endocrina che già possedeva. È infatti dopo tutto molto verosimile che parecchi organi posseggano una funzione endocrina connessa alla loro attività fisiologica primaria (come avviene per esempio per le ovaie e per i testicoli); così la doccia faringea citata sopra, da cui si è evoluta la tiroide, concentra lo iodio esattamente come la tiroide, e quasi certamente produce un ormone di tipo tiroideo.

Il modo classico (ma non certo l'unico) per dimostrare la funzione endocrina è di asportare la ghiandola, osservare le conseguenze dell'asportazione, e dimostrare quindi che la situazione ritorna normale reimpiantando la ghiandola o iniettando un estratto ghiandolare. Questa procedura è ovviamente impossibile quando non si può asportare la ghiandola o per ragioni anatomiche o perché il suo funzionamento è essenziale per la vita del soggetto. Ciò vale particolarmente per il fegato (che produce un gran numero di ormoni) e per il cervello (una parte del quale, l'ipotalamo, secerne quegli ormoni che un tempo si riteneva fossero prodotti dalla parte posteriore dell'ipofisi). In casi come questi si ricorre alle prove per così dire indiziarie fornite dalla microanatomia, dall'istochimica eccetera, anche se queste non consentono una dimostrazione così elegante e decisiva come i procedimenti che hanno rivelato la funzione endocrina delle ghiandole surrenali, della tiroide e del pancreas.

Con la nostra teoria della conservazione della funzione endocrina in organi divenuti funzionalmente superflui nel corso dell'evoluzione si accorda il fatto che le ghiandole endocrine «moderne» esplicano molto spesso una funzione connessa alla funzione originaria dell'organo. Così la porzione midollare della ghiandola surrenale esplica una funzione molto simile a quella che ci si dovrebb-

be attendere di trovare in un organo evolutosi da un ganglio del simpatico; inoltre la regolazione dei sali corporei è una funzione non sorprendente per un organo – la corteccia della ghiandola surrenale – che potrebbe essersi evoluto dall'antico *pronephros*, il rene primordiale dei vertebrati.

Un altro carattere curioso e inspiegato dell'evoluzione endocrina è la frequenza con cui due organi endocrini di origine e funzioni del tutto diversi sono venuti a formare, nel corso dell'evoluzione, un singolo organo composito: si pensi alle porzioni corticale e midollare della ghiandola surrenale, alla tiroide e alle paratiroidi, nonché agli elementi anteriore e posteriore dell'ipofisi.

ENZIMI

La maggior parte delle trasformazioni molecolari che costituiscono il metabolismo sono mediate dall'azione di proteine note come enzimi. Questi le accelerano a tal punto che, in pratica, si può ritenere che esse non avverrebbero in loro assenza. Molti enzimi dipendono per la loro azione dalla cooperazione di altri fattori, chiamati a volte coenzimi, che spesso posseggono a loro volta proprietà enzimatiche. Il tripsinogeno, ad esempio, il precursore del più importante enzima proteolitico dell'intestino tenue, la tripsina, è attivato dall'enzima enterochinasi. In linea di massima gli enzimi mostrano una grande specificità di interazione col substrato, e sono molto sensibili nel loro funzionamento alla temperatura e a un esatto grado di acidità o di basicità. Così la pepsina, il più importante enzima proteolitico dello stomaco, è attivo in un ambiente molto acido e pressoché inattivo in un ambiente basico.

La molecola su cui l'enzima agisce dicesi substrato, e il nome degli enzimi si forma aggiungendo il suffisso *-asi* al nome del substrato: così le proteasi, le lipasi e le carboidrasi agiscono rispettivamente sulle proteine, sui lipidi e sui carboidrati. Il termine «enzima proteolitico» sarà presto soppiantato da proteasi e l'espressione «enzima proteoclastico» è già obsoleta. Come per tutte le proteine, il montaggio degli enzimi è specificato dagli acidi nucleici che codificano l'informazione necessaria alla loro sintesi. È indubbio che la specificazione della sintesi degli enzimi sia una delle principali funzioni degli acidi nucleici trasmessi nelle cellule germinali. Le mutazioni che influiscono sulla sintesi di un particolare

enzima determinano una situazione patologica di carenza dell'enzima corrispondente. Si pensi per esempio alla fenilchetonuria, la quale è causata da un gene che, quando sia ereditato da entrambi i genitori, porta a una deficienza della fenilalaninaidrossilasi. Nell'albinismo l'enzima carente è la tirosinasi.

Gli enzimi hanno una vasta gamma di usi in produzioni biologiche, di cui trattiamo alla voce BIOINGEGNERIA.

EPIFISI

Escrescenza dorsale del diencefalo, compreso fra il metencefalo e il talamo, l'epifisi o ghiandola pineale era nei vertebrati inferiori una sorta di occhio, o in ogni caso era sensibile alla luce. Nei mammiferi attuali si ritiene sia una ghiandola endocrina che influisce sulla pigmentazione.

L'epifisi è più evidente nell'uomo che in animali inferiori, anche se il grande rilievo che ha nello sviluppo embrionale non fu probabilmente noto a Descartes. Forse proprio in conseguenza di questa diversità fra l'uomo e gli animali Descartes pose nella ghiandola pineale la sede dell'anima (egli non credeva che gli animali avessero un'anima). L'«anima» di Descartes non era qualcosa che potesse essere contenuto in un corpo materiale, come la bile che è contenuta nella cistifellea, ma era piuttosto un principio di animazione – «un vento, una fiamma o un etere» – in cui risiedeva il potere del pensiero, e specialmente dell'immaginazione.

EPITELIO

L'epitelio è un tessuto formato da cellule contigue dello stesso tipo disposte in modo da costituire una superficie continua. Nel significato originario del termine, un epitelio delimitava propriamente una superficie convessa, mentre per una superficie interna o concava si usava il termine *endotelio*. Così la cornea è rivestita all'esterno da un epitelio e all'interno da un endotelio.

Qualche dizionario, fra cui il *Penguin Dictionary of Biology*, registra anche la voce «mesotelio», che noi consideriamo superflua e etimologicamente dubbia. (Presumiamo che il termine sia stato coniato per distinguere un epitelio di origine mesodermica: intrusione davvero inutile della teoria dei foglietti germinali in

anatomia.) Le cellule che formano il rivestimento interno del cuore e dei vasi sanguigni in tutto il corpo costituiscono quello che viene chiamato, senza alcun timore di confusione, l'«endotelio vascolare».

EREDITÀ E AMBIENTE

L'uso antitetico, in inglese, dei termini *nature* e *nurture*, gli equivalenti di «eredità» e «ambiente», deriva con ogni probabilità dal libro di Francis Galton *English Men of Science: Their Nature and Nurture*, edito a Londra nel 1874; ma già nella *Tempesta* di Shakespeare, atto IV, scena I, Prospero descrive Calibano come «a devil on whose nature nurture can never stick» (un diavolo, sulla cui natura l'educazione non potrà mai aver presa). Robert Nisbet, nel saggio *Anomie*, in *Prejudices: A Philosophical Dictionary* (Cambridge, Massachusetts, 1982), pensa che quest'antitesi sia adombrata nell'antagonismo, risalente al V secolo a.C., fra *physis* (che ha un ambito semantico molto simile a quello di «natura») e *nomos* (che significa un pascolo per il bestiame). L'uso è in ogni caso consolidato da molto tempo e ben compreso.

Nella moderna applicazione di quest'antitesi, la natura o eredità di un organismo è quello che è in conseguenza del suo corredo genetico. La sua *nurture* o educazione è la somma totale dei fattori che sono entrati a far parte del suo ambiente e della sua educazione: tutti questi fattori vengono designati di solito per semplicità col vocabolo comprensivo di ambiente. I profani sono inclini a pensare la distinzione nella forma di una competizione e si sono abituati a chiedersi in quale proporzione eredità e ambiente contribuiscano rispettivamente a una certa differenza di un carattere: per esempio a una differenza d'intelligenza. Sui tentativi di assegnare percentuali esatte ai due contributi, noi possiamo solo offrire una regola generale: quanto più un tentativo in questo senso è perentorio e dogmatico, tanto maggiori sono le probabilità che sia sbagliato o, più spesso, perseverante nell'errore. In effetti il contributo stimato dell'eredità può variare da 0 a 100 a seconda dell'ambiente, ossia a seconda del contributo della *nurture*, e viceversa. Quest'osservazione è illustrata più diffusamente nella voce FENILCHETONURIA, l'anomalia metabolica congenita cui si devono l'1 per cento circa di tutti i casi di deficienza mentale.

La fenilchetonuria quale la riconosciamo in un ambiente normale è causata dalla trasmissione ereditaria, da parte di entrambi i genitori, di un certo gene recessivo che, negli individui omozigotici per quel gene, rende impossibile metabolizzare l'amminoacido fenilalanina, che è presente comunemente nella dieta. Gli individui affetti da quest'infermità vengono sottoposti a una dieta con un contenuto di fenilalanina molto ridotto, e in queste condizioni l'incapacità di metabolizzare fenilalanina non è quello spettro che altrimenti sarebbe. Consideriamo ora due situazioni-limite: in un mondo reale caratterizzato da abbondanza di fenilalanina, la malattia può essere giustamente considerata di origine genetica; ma in un microcosmo in cui tutti gli individui fossero omozigoti recessivi, la fenilchetonuria verrebbe descritta con sicurezza come una malattia di origine ambientale. In questo caso si direbbe che uno degli amminoacidi liberati dalla digestione della maggior parte delle proteine è una sostanza estremamente tossica, la *fenilalanina*, l'esposizione alla quale dev'essere evitata il più possibile.

Questi due esempi possono essere considerati casi-limite che illustrano un teorema di validità universale, secondo il quale il contributo dell'eredità a una qualsiasi differenza di carattere è funzione dell'ambiente e il contributo dell'ambiente è funzione dell'eredità, teorema che è illustrato da un'infinità di casi. In molti crostacei, per esempio, il grado di pigmentazione dell'occhio dipende sia dal corredo genetico sia dalla temperatura a cui lo sviluppo procede: è impossibile fissare una temperatura alla quale le differenze fra l'avere occhi bianchi, neri, rossi o scuri si presentino come determinate totalmente dall'eredità, e si possono scegliere genotipi in cui il colore degli occhi è determinato quasi per intero da influenze ambientali. Lo stesso ragionamento si applica in linea di principio al numero di ommatidi che costituiscono l'occhio composto degli insetti: pur essendo ovviamente soggetto a un controllo genetico, questo carattere è influenzato anche dalla temperatura.

Se già in questi casi semplici e immediati riesce quasi impossibile assegnare valori numerici esatti ai contributi dati dall'eredità e dall'ambiente a differenze di caratteri, questa conclusione non vale *a fortiori* per i tediosi tentativi degli psicologi del QI di dimostrare che l'intelligenza è soggetta per il 75-80 per cento a un controllo genetico, e che solo per un 20-25 per cento è influenzata da

educazione e ambiente? Affermazioni come queste hanno avuto un'influenza profonda su certi uomini politici e, attraverso di loro, sulla legislazione, conducendo talvolta, per esempio in California, alla promulgazione di leggi crudeli, stupide e inefficaci per combattere rischi non meno illusori dei rimedi proposti contro di essi. Ci riferiamo specialmente al «pericolo» che la presunta grande fecondità dei deficienti mentali finisse per popolare ben presto il mondo di imbecilli, destinati a soppiantare i sani di mente.

La tesi presentata qui sopra, che il contributo dell'eredità sia una funzione dell'ambiente e quello dell'ambiente una funzione dell'eredità, non è in linea teorica molto difficile da capire, specialmente se ci si lascia guidare dagli esempi-limite scelti per illustrarla. La sua comprensione richiede nondimeno un'energia mentale che pare sia stata in passato oltre le possibilità di molti psicologi, per quanto alto potesse essere il loro QI.

Nella tendenza ad attribuire le diseguaglianze nelle prestazioni intellettuali all'eredità anziché all'ambiente c'è una forte colorazione politica. Se infatti i poveri e gli indigenti devono la loro condizione sociale ai loro geni, non possiamo farci nulla: noi non abbiamo alcuna responsabilità per la loro miseria ed emarginazione, e non abbiamo alcun obbligo morale di fare qualcosa per rimediare alla loro condizione. Se invece, come i marxisti moderni, neghiamo categoricamente l'esistenza di differenze innate fra le capacità umane, così che un essere umano sarebbe solo ciò che l'ambiente e l'educazione hanno fatto di lui, allora in una società giusta sarebbe dovere dello Stato provvedere a educare i suoi cittadini e a fornire loro uguali opportunità ambientali.

Gli scienziati credono – per quanto quest'idea possa sembrare ingenua – che l'unico rimedio contro queste incertezze, e l'unico mezzo per rimediare all'ingiustizia e agli abusi cui esse danno origine, sia la scoperta e diffusione della verità. Ingenua, forse, perché un carattere tipico di un atteggiamento fazioso è proprio quello di rendere i contendenti sordi ad argomenti contrari alle loro convinzioni congenite. Tentare di scoprire e diffondere la verità è nondimeno un obbligo per gli scienziati, un dovere da perseguirsi quali che siano le ripulse degli avversari: in caso contrario, che senso avrebbe essere scienziati? L'alternativa è che gli scienziati si accontentino di essere i semplici factotum e artigiani di una complessa cultura fondata su macchine.

ERRORI DI NATURA

L'esperimento seguente, che preferiremmo non fosse stato compiuto, fu eseguito su topi cui erano state asportate le ghiandole surrenali.

La corteccia delle ghiandole surrenali è essenziale per la sopravvivenza e la sua ablazione o inattivazione determina una rapida perdita di sali dall'organismo, con esito fatale, a meno di non assumere un eccesso di sali a compensazione della perdita. Quando a topi privati delle ghiandole surrenali fu offerta una scelta fra bere acqua salata o acqua normale, essi scelsero la prima e sopravvissero; quando però dovettero scegliere tra acqua salata e acqua zuccherata scelsero la seconda e morirono. La morale è che lasciar fare alla natura non è sempre la soluzione giusta, e che gli appetiti naturali possono giocare brutti scherzi. La nozione arcadica che la natura sa sempre quello che fa è molto diffusa: basti pensare alla convinzione che la natura, con la sua vastissima farmacopea naturale fatta di bacche, di erbe e di radici, abbia un rimedio per tutti i nostri mali.

Ovviamente non dobbiamo incolpare la natura per le idee sbagliate che abbiamo sul suo conto, così come non è colpa sua se a volte certe procedure artificiali come le trasfusioni di sangue, o i trapianti di organi fra individui geneticamente molto diversi, non riescono. Coloro che si ostinano a sostenere la validità dell'argomento del disegno divino devono essere pronti a rispondere a una serie di obiezioni molto ben fondate, un po' come i medici i cui pazienti soffrono per qualche effetto collaterale dei farmaci loro prescritti o comunque per qualche altro inconveniente di misure che dovrebbero essere terapeutiche.

Molti adattamenti naturali si rivelano in realtà dannosi a causa di taluni effetti collaterali che fanno ammalare i loro portatori o li rendono più vulnerabili a certe malattie di quanto sarebbero stati altrimenti. Consideriamo, per esempio, le varie forme di allergia – l'allergia al polline o a certi cibi, l'anafilassi, le distruttive malattie autoimmunitarie –; esse derivano tutte dal fatto che il nostro sistema di reazione immunitaria è estremamente sensibile e quindi in grado di accorgersi immediatamente della presenza di sostanze estranee nel nostro organismo: non c'è immunologo che dubiti del fatto che un coniglio non ancora nato sarà in grado di produrre un

anticorpo contro una sostanza non ancora sintetizzata. Ovviamente è corretto dire che il possesso di un sistema di reazione immunitaria conferisce a noi e agli animali in generale un vantaggio *netto*, giacché tale sistema è essenziale per sopravvivere, anche se una persona prostrata da un attacco d'asma potrebbe pensare che non ne valga la pena.

Un altro e diverso esempio di effetto collaterale negativo è quello associato alla stazione eretta dell'uomo, la quale sarà senza dubbio, come è stato rilevato, una fonte costante di soddisfazioni morali, ma comporta gravi inconvenienti meccanici. Nella maggior parte dei mammiferi la colonna vertebrale non è che un semplice arco che va dalla testa alla coda, una sorta di trave che poggia su quattro pilastri, le gambe. Nell'uomo la colonna vertebrale presenta invece inflessioni in più punti: si incurva un po' in avanti nella gabbia toracica e nel collo e all'indietro nel tratto sacrale. La stazione eretta sottopone la spina dorsale a sforzi e tensioni che a livello evolutivo sono nuovi e poco familiari: non ci deve stupire quindi se, nell'organismo umano, la colonna vertebrale ha la fama di essere la prima struttura a presentare segni di «invecchiamento». Le grandi scimmie antropomorfe, pur essendo in grado di assumere talvolta la stazione eretta, ne evitano molti inconvenienti utilizzando le braccia a mo' di gambe anteriori e le nocche come piedi, e poggiando il peso del corpo non sulla pianta dei piedi, ma sui bordi esterni. Gli esseri umani, camminando eretti e facendo gravare il peso del corpo sulla pianta dei piedi, sono estremamente vulnerabili a inconvenienti alla spina dorsale come la protrusione in avanti di dischi intervertebrali nonché tutta una serie di dolori dorsali di etiologia incerta.

Una volta un veterinario si irritò moltissimo sentendo dire che la vulnerabilità della spina dorsale è «un'imperfezione umana»; anche i cani, sostenne, soffrono di lesioni di dischi. Purtroppo al veterinario sfuggì il nocciolo della questione (ossia le lesioni ai dischi come effetto collaterale negativo di un adattamento), cosicché egli rifiutò l'intero ragionamento sostenendo che esso non aveva altro scopo che svilire la condizione del veterinario e privarlo dalla stima di sé derivante dal fatto che i suoi pazienti soffrono di mali paragonabili per natura e gravità a quelli che affliggono gli esseri umani. Né valse forse a restituirgli la serenità l'invito a tracciare una distinzione fra gli adattamenti negativi di esseri umani

altrimenti normali e quelli che affliggono gli orrendi mutanti che affollano gli ambulatori dei veterinari.

Non possiamo concludere questo argomento senza rilevare che la stazione eretta offre vantaggi di gran lunga superiori agli inconvenienti che abbiamo menzionato: essa libera infatti le mani e rende quindi possibile la manipolazione, che è conquista preziosissima.

Come terzo esempio di adattamento negativo si può citare un'altra disfunzione dei meccanismi di reazione immunitaria: la suscettibilità degli esseri umani alla malattia emolitica del neonato. Questa insorge in conseguenza del fatto che la placenta è così assottigliata da permettere il passaggio di anticorpi materni incompatibili che si formano a volte (vedi la voce RH, FATTORE) quando, durante il parto, i globuli rossi fetali entrano nel circolo sanguigno della madre. Il polimorfismo RH può ovviamente conferire un qualche vantaggio che può più che controbilanciare lo svantaggio della malattia emolitica: non è chiaro tuttavia di quale vantaggio si tratti, giacché esso non è presente nelle scimmie antropomorfe e neppure in tutte le comunità umane.

Il quarto esempio di adattamento negativo è di tipo del tutto diverso: si tratta di una situazione in cui un adattamento che è chiaramente vantaggioso per una maggioranza delle persone è fatalmente svantaggioso per pochi. Alla voce DREPANOCITICA, ANEMIA spieghiamo che la disposizione genetica a questa forma di anemia è la conseguenza di un gene S che trasforma la normale emoglobina A in una forma anormale, per cui in sangue disossigenato i globuli rossi assumono aspetto falciforme. Questo carattere ereditario è diffuso soprattutto in zone in cui la malaria era o è endemica, in quanto chi ne è portatore gode di una relativa immunità da questa malattia. Questo tipo di adattamento è quel che un giocatore di scacchi chiamerebbe una «mossa brillante»: un esempio perfetto della saggezza della natura, madre benevola. Purtroppo, però questa soluzione comporta anche alcuni svantaggi, del tipo che un autore di un trattato Bridgewater eviterebbe di prendere in considerazione: un quarto circa dei figli nati da genitori portatori di questo gene muoiono giovani poiché, secondo le leggi di Mendel, saranno omozigoti per il gene S e risulteranno quindi affetti da anemia drepanocitica, che è un male mortale.

Gli esempi che abbiamo citato sono più che altro inviti alla pru-

denza: stiamo attenti a non attribuire alla natura un disegno razionale, da cui si potrebbe essere tentati di inferire l'esistenza di un Dio onnisciente, in grado di prevedere gli effetti collaterali dannosi dei Suoi piani.

ESOGENETICA, EREDITÀ

L'eredità esogenetica è la forma di eredità che è mediata non dai cromosomi ma da altri mezzi di trasferimento dell'informazione, in generale da mezzi «culturali». L'eredità che ci viene così trasmessa è costituita da conoscenze, tecniche e vari prodotti mentali come libri, leggi, norme di comportamento e invenzioni, meccaniche e d'altro genere. Quando le opere dell'uomo subiscono un cambiamento lento e sistematico da un secolo all'altro, da una generazione all'altra, possiamo ragionevolmente parlare di una sorta di «evoluzione»: un'evoluzione esogenetica o, come si esprime una volta A.J. Lotka, «esosomatica», in contrapposizione all'evoluzione che ci è più familiare, quella endogenetica o endosomatica.

I biologi che si definiscono «coi piedi per terra», gente attaccata ai fatti che non ha tempo da perdere con i giochi verbali, condanneranno il concetto di evoluzione esogenetica definendolo fantastico, nebuloso o, con una certa inflessione spregiativa, semplicemente «filosofico». Sarà bene allora ricordare loro che il concetto di eredità esogenetica risale a uno studioso di genetica particolarmente concreto e famoso per il suo rigore. Così scrive in proposito Thomas Hunt Morgan (1866-1945):

I biologi hanno ripudiato la teoria dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti per mezzo delle cellule germinali; essi sono però costretti a riconoscere che la specie umana è riuscita a trasmettere in altro modo da una generazione all'altra certi caratteri acquisiti. Nell'uomo coesistono dunque due diversi processi di ereditarietà: uno attraverso la continuità fisica delle cellule germinali e l'altro per mezzo della trasmissione delle esperienze da una generazione all'altra mediante sia l'esempio sia la lingua parlata e scritta. Proprio a questa capacità di comunicare con i suoi simili e di educare la prole si deve probabilmente in primo luogo la rapida evoluzione sociale dell'uomo. Nel regno animale troviamo molti casi in cui i piccoli sono protetti e curati da genitori. Tali inizi forniscono lo sfondo di partenza contro il quale si è evoluta la relazione più complessa tra genitori e figli che caratterizza

la specie umana, in cui una prolungata fase infantile offre opportunità eccezionali per la trasmissione di tradizione ed esperienza.

(*The Scientific Basis of Evolution*, London 1932, cap. 10.)

Questo secondo tipo di eredità e il tipo di mutamento evolutivo da cui è mediato vengono chiamati a volte eredità o evoluzione culturale. Queste denominazioni sono però felici, dando l'impressione che sia la cultura a evolversi, mentre dicendo «eredità esogenetica» si indica senza possibilità d'equivoco un tipo di eredità e di evoluzione che è mediato *dalla* cultura. La nozione di evoluzione esogenetica, pur essendo di grande interesse, è anche una nozione ovvia: così ovvia che la maggior parte dei biologi vi sono pervenuti senza attingere a Morgan, a Herbert Spencer o ad altri fautori di quest'idea. Può darsi che sia stata proprio questa sua ovvietà a renderla poco attraente come oggetto di uno studio approfondito.

L'evoluzione esogenetica è ciò che ha fatto dell'uomo un essere non più solo terrestre, ma anche aereo, marino e sottomarino; che gli ha permesso di vivere all'equatore o ai poli, nello spazio e, un giorno, senza dubbio, anche altrove nel sistema solare. L'evoluzione esogenetica ha potenziato a tal punto i sensi dell'uomo che grazie all'uso di una varietà di strumenti esosomatici siamo in grado di vedere oggetti molti miliardi di volte più piccoli di quelli che si possono discernere a occhio nudo e altri oggetti molti miliardi di chilometri più lontani di quanto non si possa normalmente spingere lo sguardo. Strumenti di grande complessità ci permettono di percepire i raggi X e di individuare il calore di una candela accesa a 6 chilometri di distanza.

Microscopi, telescopi, contatori Geiger, indumenti, leve, chiavi inglesi, martelli, coltelli, armi da fuoco sono alcuni fra gli organi esosomatici dell'umanità che si sono evoluti in modo molto simile ai nostri organi corporei. Si possono tracciare alcuni paralleli divertenti e profondamente istruttivi fra l'evoluzione di organi endosomatici ed esosomatici: in entrambi i casi l'evoluzione è graduale, e gli uni e gli altri presentano talvolta caratteri rudimentali (si pensi alla presenza, da molto tempo assolutamente inutile, dei bottoni alle maniche delle giacche da uomo, o all'occhiello sul bavero). Inoltre organi esosomatici ormai superati e inutili devono essere rinnovati dai processi di produzione, e la selezione naturale entra anche qui in gioco tenendo conto del successo economico: si continuerà a produrre solo ciò che funziona bene e che la gente de-

sidera abbastanza da comprarlo, e le nuove varianti diventano ben presto i tipi prevalenti nella popolazione. La penna d'oca, che è stata usata per così lungo tempo dai nostri antenati, si è per così dire estinta e al suo posto è subentrata la penna a sfera.

La mutazione ha, nell'evoluzione esosomatica, un ruolo paragonabile a quello che assolve in natura: quando John Boyd Dunlop (1840-1921) inventò il pneumatico, il nuovo prodotto ebbe un tale successo economico che in brevissimo tempo si diffuse nell'intera popolazione di veicoli di ogni genere, tanto che oggi un veicolo che abbia le ruote piene è divenuto una curiosità da museo.

Questi paralleli non vanno giudicati molto più che semplici curiosità, mentre le differenze tra l'evoluzione endosomatica e quella esosomatica sono vere e profonde: in primo luogo, l'evoluzione esosomatica è reversibile, mentre quella endosomatica non lo è praticamente mai. Inoltre, come Morgan aveva visto con chiarezza, l'evoluzione esosomatica è di stile lamarckiano, giacché, diversamente dall'eredità lamarckiana, comporta un processo d'apprendimento e ciò che è appreso può entrare a far parte del bagaglio ereditario. La descrizione più concisa del contenuto dell'eredità esogena è stata data da Karl Popper, che ha introdotto allo scopo il concetto di «terzo mondo», che oggi per ovvie ragioni si preferisce chiamare «Mondo 3».* Il Mondo 1 è il comune mondo fisico; il Mondo 2 è il mondo della nostra esperienza cosciente; nel Mondo 3 rientrano invece i prodotti della mente umana: è il mondo dei ricordi, dei programmi, delle regole e delle istruzioni, dei ragionamenti, delle teorie, di quanto è contenuto nei libri eccetera. Alla luce di questa caratterizzazione, che è essenzialmente quella di Popper, possiamo renderci conto della forza della concezione del *meme* di Richard Dawkins come unità dell'eredità esogenetica.

Molti biologi, sentendo parlare per la prima volta di eredità ed evoluzione esogenetiche, si limitano a reagire chiedendo: «E con ciò?». Ma non c'è bisogno di spendere qui molte parole per far capire che all'eredità esogenetica gli esseri umani devono la maggior parte del loro successo biologico attuale e la loro speranza di un successo ancora maggiore.

* Vedi Karl Popper, *Objective Knowledge*, Oxford 1972; trad. it. *Conoscenza soggettiva*, Armando, Roma 1975.

ESSERE, GRANDE CATENA DELL'

Nella voce UOMO, SUO POSTO IN NATURA, ci azzardiamo a formulare l'ipotesi che la scoperta delle scimmie antropomorfe nell'Africa Orientale e nell'Asia Sudorientale durante i viaggi di scoperta del Quattrocento e Cinquecento debba essere stata uno dei massimi traumi culturali mai subiti dall'umanità. Eppure gli scritti di quel periodo non rivelano alcun segno di quella preoccupata presa di coscienza di questi animali strani, quasi umani, che sarebbe lecito attendersi da persone sottoposte a un confronto così inquietante. Invano cercheremmo qualcosa di affine, per esempio, ai pensieri oscuri, turbati, di autori *fin-de-siècle* come Henrik Ibsen e, in misura minore, George Bernard Shaw, su argomenti che abbiano a che fare con l'eredità biologica.

Che cosa dunque sottrasse gli uomini riflessivi degli anni attorno al 1600 all'imbarazzo e all'apprensione che avrebbe dovuto suscitare – come nei bambini intelligenti di oggi – una creatura come quella battezzata in seguito da Linneo *Homo silvestris orangoutang*? Essi furono preservati, secondo noi, da tali sentimenti dall'antica concezione di una *grande catena dell'essere*, o grande scala dell'essere. Agli occhi di Platone, nulla poteva manifestare le operazioni di un potere divino razionale più chiaramente di un universo in cui si potesse trovare un rappresentante reale di qualsiasi essere potesse venire razionalmente immaginato. Un tale piano dell'essere sarebbe stato imperfetto se ci fossero state lacune: doveva esistere una gradazione continua dalle creature più semplici e più umili sino al divino.

Questa nozione fu straordinariamente vivida, convincente e duratura: essa è forse la radice più profonda dell'idea di evoluzione, che in un certo senso, come si esprime Arthur O. Lovejoy,* è una grande catena «temporalizzata», ossia dispiegata nel tempo. Questa catena è alla base della metafisica di Leibniz e di quella di Teilhard de Chardin, quale la propose nella sua sconnessa rapsodia *Il fenomeno umano*.

Quale che sia il posto della grande catena dell'essere nella linea

* Chiunque scriva sul concetto di grande catena dell'essere ha un grande debito nei confronti del libro di Arthur O. Lovejoy, *The Great Chain of Being: A Study of the History of an Idea*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1936; trad. it. *La Grande Catena dell'Essere*, Feltrinelli, Milano 1966.

di pensiero culminata nell'evoluzionismo, essa fornì anche un antidoto spirituale all'empietà di respingere l'idea di una creazione speciale. Se infatti ogni specie concepibile di organismi fosse stata oggetto di una creazione speciale, un creatore onnipotente, rispondendo alle attese platoniche dell'onnipotenza divina, non avrebbe creato ogni organismo possibile senza lasciare vuoti nella sua creazione, così che l'esistenza di forme intermedie e, nella concezione evoluzionistica, di transizione (per esempio rettili con piume e mammiferi ovipari) fosse vista come il prodotto atteso e naturale di un grande Architetto?

Voltaire, nel *Dizionario filosofico*, dedicò qualche riflessione alla grande catena dell'essere ed espresse la propria insoddisfazione per quello che Lovejoy chiamò il «principio di pienezza», ossia il principio che non ci siano lacune: tutto ciò che può essere immaginato deve esistere. Non è chiaro, chiese Voltaire, che c'è una lacuna fra la scimmia e l'uomo? Non sarebbe facile immaginare un bipede senza piume, intelligente ma privo dell'uso della parola e diverso da noi all'aspetto, che potesse essere addestrato da noi e che rispondesse ai nostri segnali e ci servisse? E non si potrebbero immaginare ancora altre forme intermedie fra questi nuovi esseri e noi stessi?

Questi servitori muti di Voltaire possono in effetti essere immaginati, e lo furono: sono i Morlock della *Macchina del tempo* di H.G. Wells.

ETÀ, DISTRIBUZIONE DELLE

Una popolazione ha una struttura non solo nello spazio (la sua distribuzione geografica) ma anche nel tempo, giacché due popolazioni possono avere composizione diversa in relazione alle età dei loro membri.

La distribuzione delle classi d'età è determinata dal quoziente di mortalità e da quello di natalità: solo se natalità e mortalità si mantengono costanti per parecchie generazioni la distribuzione delle età assume un carattere stabile, che tende a ristabilirsi dopo fluttuazioni o disturbi temporanei dovuti a migrazioni di popolazioni, guerre e simili.

La composizione per età di una popolazione umana ha rilevante importanza politica perché è il principale fra i fattori che determi-

nano gli oneri sociali imposti dall'istruzione dei giovani o dalle pensioni di anzianità, quando tali oneri siano in parte o totalmente a carico dello Stato. Tale composizione può incidere anche sull'umore politico o sul comportamento elettorale, se è vero che i giovani, essendo più impulsivi, guarderebbero di buon occhio, secondo un'opinione diffusa ma probabilmente infondata, a indirizzi politici innovatori o estremisti, votando in conseguenza, mentre le persone più mature, essendo più posate, favorirebbero maggiormente lo status quo. Georges Clemenceau, presidente del consiglio della Francia (1917-1920), disse una volta: «Un uomo che non sia socialista a vent'anni non ha cuore; un uomo che sia ancora socialista a quaranta non ha cervello». Non dubitiamo del fatto che le ricerche della sociologia dimostreranno l'infondatezza di entrambe queste affermazioni.

Può essere molto sviante confrontare due popolazioni in relazione, per esempio, alla natalità e alla mortalità, se la loro distribuzione delle età è molto diversa. Ha senso confrontare la mortalità dovuta a cancro o ad altre malattie con un'incidenza legata all'età in paesi diversi solo se l'incidenza della mortalità nei due paesi è riferita a una certa distribuzione delle età standard; la mortalità in un paese può essere infatti più alta che in un altro solo in conseguenza di una maggiore proporzione di anziani. Solo per non aver tenuto conto di considerazioni come queste David Livingstone poté formulare la famosa mezza verità che «il cancro è una malattia della civiltà». Una popolazione può aumentare di numero in conseguenza dell'aumento di membri non più in età feconda, anche se nel contempo il suo vigore riproduttivo diminuisce.

ETOLOGIA

Negli anni venti e trenta di questo secolo lo studio del comportamento animale – o almeno quella parte che i suoi cultori avrebbero considerato «scientifica» – si trovava in una situazione assai grama. Gli organismi viventi erano indotti alla condizione di soggetti di test di laboratorio; la sperimentazione consisteva per lo più nell'accertare e registrare in che modo il mutare delle condizioni sperimentali influiva su un certo comportamento. Osservare l'animale non bastava: bisognava pungerlo, spingerlo, stimolarlo,

abbagliarlo con una luce violenta così che il comportamento ne risultasse modificato (cosa che veniva ritenuta ricca di informazioni, mentre in realtà non lo era quasi mai). Limitarsi a osservare un animale, specialmente nel suo ambiente naturale, non veniva considerata un'attività scientifica ma piuttosto un gradevole passatempo all'aria aperta, adatto a perdigiorno e a giovani madri desiderose di inculcare abitudini intelligenti ai figli.

Il termine «etologia» non è solo un sinonimo di «scienza del comportamento»: esso rappresenta anzi una vera e propria rivoluzione nel modo di concepire la biologia. L'etologia si fonda sull'*osservazione* del comportamento animale; attività che solo gli ingenui possono considerare semplice. Tranne che nel caso speciale in cui un'osservazione si limiti a confermare o invalidare una predizione anteriore, l'osservazione è un processo difficile e complesso per cui sono necessarie tutte le doti dello studioso: attenzione, pazienza, grande presenza di spirito, prudenza nel trarre le conclusioni, coraggio nel formulare previsioni. L'etologo studia tipicamente il comportamento naturale e non il comportamento indotto proprio perché vuole individuare la *struttura* del comportamento naturale: vuole, cioè, discernere un'attività funzionalmente coerente e quasi-intenzionale in quell'insieme di comportamenti che a un osservatore inesperto potrebbe sembrare una sequenza di atti a sé stanti e teleologicamente privi di nesso.

È per noi motivo di particolare soddisfazione ricordare che il primo studio del comportamento cui qualsiasi etologo moderno riconoscerebbe un carattere etologico nello spirito e nell'esecuzione fu opera di un versatile biologo sperimentale che diede importanti contributi alla genetica, all'embriologia e allo studio dell'accrescimento. Si tratta del saggio di Julian S. Huxley *The Courtship Habits of the Great Crested Grebe*, sul comportamento di corteggiamento dello svasso maggiore, letto il 21 aprile 1914 alla Zoological Society di Londra e pubblicato nel volume 35 degli atti di tale associazione. Lo studio del comportamento animale con quell'impegno che solo permette di individuare le strutture del comportamento non è certo osservazione passiva: è anzi una vera e propria esplorazione, durante la quale l'osservatore elabora continuamente ipotesi e formula previsioni, che il ripetersi delle osservazioni verificherà o invaliderà. È con questi metodi che gli etologi hanno potuto costruire un'imponente anatomia del comporta-

mento normale. Si studia il comportamento in condizioni naturali proprio perché l'obiettivo dell'etologia è l'interpretazione del comportamento naturale. S'interferisce a scopo sperimentale – per esempio aggiungendo o togliendo un uovo dal nido – solo quando ciò può essere utile nell'investigazione del comportamento naturale. Non si compiono esperimenti solo perché essi possono dare un'impressione di scientificità.

L'etologia ha conseguito i suoi migliori successi al livello descrittivo, più che a quello causale/esplicativo, ossia nell'interpretazione del comportamento in funzione dell'attività elettrica del cervello e del sistema nervoso: non è questo il livello a cui gli etologi hanno scelto di operare. Di qui la minore importanza che hanno nell'etologia gli studi sulla memoria e sull'apprendimento, un tempo temi di rilievo nel vecchio stile di ricerca soppiantato dall'etologia. Questa sta costituendo oggi un bagaglio di concetti suoi propri quali quelli di impulso, di comportamento appetitivo, di attività di sostituzione e simili, in grado di spiegare il comportamento a livello etologico nello stesso modo in cui il comportamento politico è spiegabile a livello politico senza ricorrere a un'interpretazione di tipo psicologico.

Se esistono una fisiologia umana, un'anatomia umana, una genetica umana, perché non dovrebbe esistere anche un'etologia umana? La cosa è perfettamente possibile in linea teorica, solo che non si è ancora tentato di elaborare un'etologia umana in modo sistematico. Quando si scopri la correlazione esistente fra il cancro ai polmoni e il fumo, sarebbe stato davvero utile se gli etologi avessero già studiato l'etologia del fumare e ne avessero classificate le varie forme in modo più rigoroso della distinzione, familiare ma inadeguata, fra coloro che inalano il fumo e quelli che non lo inalano. Questo studio dovrebbe essere fatto professionalmente, anche se ovviamente noi tutti sappiamo che c'è una differenza notevole, da un punto di vista medico, tra quelli che aspirano solo di tanto in tanto una boccata di fumo dalla sigaretta (che per la maggior parte del tempo rimane appoggiata al portacenere, se il fumatore è ben educato, o altrimenti magari sul piano intarsiato di un preziosissimo tavolo antico) e quelli che parlano con la sigaretta che ballonzola all'angolo della bocca (strizzando gli occhi lacrimosi per via del fumo non filtrato che sale dall'estremità accesa). Chi ha smesso di fumare ha l'impressione di essersi libe-

rato da una tirannia, e soprattutto da quei comportamenti appetitivi che si manifestano nel frugarsi in tutte le tasche o nella borsetta, o nell'aprire tutti i cassetti della casa, quando si ha il terribile sospetto di essere rimasti senza sigarette.

Spesso si è additata alla pubblica riprovazione l'«olimpica superficialità» delle spiegazioni psicoanalitiche del comportamento umano.* Ma anche le divagazioni dell'etologia nel campo del comportamento umano peccano di un'analoga disinvoltura; e la colpa, qui, è più grave perché le spiegazioni di carattere etologico hanno una loro plausibilità che spesso persuade gli sprovveduti e gli incauti. Pensiamo per esempio alle interpretazioni quasi-etologiche dell'aggressività, del comportamento di gruppo e del comportamento territoriale. Quanto maggiore è la sicurezza con cui tali interpretazioni vengono date, tanto maggiore è il disagio che suscitano nei vecchi fautori dell'etologia, che spesso se ne dissociano con fermezza. Ciò non significa, com'è ovvio, che lo studio del comportamento animale non getti alcuna luce sul comportamento umano: se ciò fosse vero ci troveremmo di fronte a un'anomalia veramente incomprensibile, visto che gli esseri umani si sono evoluti da animali inferiori e che gran parte del loro repertorio è omologa col repertorio di tali animali. Si pensi ad esempio alle cure materne: nessuna persona sana di mente potrebbe supporre che tutto il complesso repertorio del comportamento materno negli esseri umani sia sorto *ex novo* con l'evoluzione dell'uomo. Questo è un esempio semplice, senza dubbio, perché esistono innumerevoli altri dati di fatto indipendenti e paralleli – forniti dall'embriologia, dall'endocrinologia eccetera – che corroborano l'esistenza di quest'omologia. Un dottor Johnson o un Voltaire dei giorni nostri troverebbero soprattutto interessante, nel comportamento umano, non la parte interpretabile come un'eredità di animali inferiori, ma al contrario la parte, di gran lunga più estesa e più importante, che comprende comportamenti e propensioni tipicamente umani quali ad esempio il giudizio morale e il ragionamento.

È in ogni caso rassicurante sapere che il gioco, l'aggressività, il bluff, l'esibizionismo, lungi dall'essere tratti tipicamente umani,

* Vedi «Further Comments on Psychoanalysis» in P.B. Medawar, *Pluto's Republic*, Oxford 1982, pp. 62-72.

fanno parte di un'antichissima eredità biologica. Né si sminuisce in alcun modo l'uomo riconoscendo, come Darwin in *Descent of Man* (London 1890),* che l'uomo conserva ancora, nel suo repertorio comportamentale, «lo stampo indelebile della sua bassa origine».

I concetti descrittivi dell'etologia che ci accingiamo ora a delineare sono sorti in risposta a un bisogno e si sono conservati perché lo hanno soddisfatto. Sebbene molti siano di natura metaforica (una caratteristica inevitabile nella lingua inglese), la terminologia è naturale, semplice e di facile comprensione. *Impulso* è una metafora per la *motivazione* (un'altra metafora) che è alla base del comportamento tendente a soddisfare certi bisogni biologici primari; espressioni come «impulso sessuale» e «impulso aggressivo» sono immediatamente e intuitivamente comprensibili. Un impulso tende a persistere fino al conseguimento del suo obiettivo, l'*azione consumatoria*. Così l'impulso della fame viene spento, per così dire, con l'azione del nutrirsi, e l'impulso sessuale con l'atto dell'accoppiamento. Il tipo di comportamento che accresce la probabilità di raggiungere un tale obiettivo è detto *comportamento appetitivo*, termine che si applica in senso proprio all'impulso della fame e in senso figurato all'impulso sessuale. Tutti gli etologi hanno osservato che, se un impulso viene frustrato o se l'animale si trova di fronte a due alternative incompatibili – come accadde all'asino di Buridano, morto di fame perché non seppe decidersi tra due mucchi di fieno equidistanti ed egualmente grandi – può manifestarsi un comportamento agitato e inappropriato alla situazione. È questa l'*attività di sostituzione*: così uno scienziato indulge forse a un'attività di sostituzione quando, stufo di applicarsi a un articolo per una rivista specializzata, si mette a costruire un'apparecchiatura del tutto inutile o a compiere un esperimento da cui ricaverà ben poca informazione.

È noto che i behavioristi più rigorosi considerano questa terminologia del tutto priva di fondamento scientifico. Chi si trovi su posizioni più moderate apprezzerà invece la possibilità di disporre di una terminologia precisa e nel tempo stesso semplice così ben adatta al suo scopo.

* Trad. it. *L'origine dell'uomo*, in *Il meglio in antropologia*, Longanesi, Milano 1971, p. 832.

EUCARIOTI

Con questo termine si indicano gli organismi costituiti da cellule eucariotiche, ossia cellule nel cui nucleo il DNA, formato da terne costituite da uno zucchero, una base organica azotata e acido fosforico, è organizzato in cromosomi all'interno di un nucleo, separato dal resto della cellula da una distinta membrana nucleare.

EUFENICA

Il termine, coniato da Joshua Lederberg, designa il tentativo di annullare gli effetti di geni nocivi attraverso il miglioramento delle condizioni ambientali. Se ne dà un esempio alla voce **FENILCHETONURIA**, dove si suggerisce di ridurre la fenilalanina nella dieta dei bambini affetti dall'incapacità congenita di produrre la fenilalaninaidrossilasi, l'enzima necessario per metabolizzare la fenilalanina.

Contrariamente a quanto si ritiene comunemente, le misure eufeniche non hanno sempre conseguenze geneticamente negative; alcune, anzi, determinano un miglioramento genetico. Ne diamo un esempio nella voce **DREPANOCITICA, ANEMIA**.

EUGENETICA

L'eugenetica o eugenica si può descrivere nel modo migliore come il desiderio di migliorare la sorte dell'umanità, fondandosi sull'autorità di una scienza (la genetica) che non è ancora compresa perfettamente. Oggi l'eugenetica è mescolata a tal punto a considerazioni di stampo razzista che è difficile darne un giudizio equilibrato. È nondimeno necessario tentare una valutazione scientifica del problema, se non si vuole continuare a essere alla mercé di uomini politici ambiziosi, che potrebbero ancora una volta abusare dell'autorità della genetica per coltivare velleità malvage e antidemocratiche.

Il termine *eugenics* fu coniato da Francis Galton (1822-1911), che lo sostituì al termine, da lui usato in precedenza, di «viricoltura». Così Galton introdusse, nel 1908, l'eugenetica: «L'uomo è dotato di pietà e di altri sentimenti gentili; è inoltre in suo potere prevenire molti generi di sofferenze. Io ritengo che egli possa fare

parecchio per sostituire la selezione naturale con altri processi più pietosi e non meno efficaci. Questo è precisamente il fine dell'eugenetica».

Se leggiamo queste frasi avendo sott'occhio una fotografia di Galton in età matura, potremmo avere l'impressione che questo gentiluomo dall'espressione benevola con l'aria di un vecchio uomo di mondo londinese fosse uno studioso dall'animo gentile, ispirato dal desiderio di risparmiare all'umanità il bisturi spietato della selezione naturale. Nulla di più sbagliato: Galton auspicava lo sviluppo di un forte «senso di casta» fra gli individui più dotati di ciascuna classe sociale. Questa élite genetica avrebbe dovuto esercitare il maggior peso sul potere legislativo, e in caso di bisogno, avrebbe dovuto avere un diritto prioritario all'assistenza pubblica. Così scrisse Galton: «Non vedo perché una qualsiasi tracotanza di casta dovrebbe impedire alla classe dotata, avendone il potere, di trattare i propri compatriotti con la massima benevolenza finché rinunciano al matrimonio. Ma se essi continuassero a procreare figli aventi inferiori qualità morali, intellettuali e fisiche, è facile prevedere che potrebbe venire il momento in cui tali individui verrebbero considerati nemici dello Stato, perdendo in tal modo ogni diritto alla benevolenza».*

E questo nonostante tutto il bel discorso sulla «pietà» e gli «altri sentimenti gentili». La moralità di Galton è quella della camera a gas. E non ci stupisce nemmeno che Galton nutrisse un morboso interesse verso la pena di morte, soprattutto per impiccagione.**

La giustificazione pseudoscientifica dell'eugenetica si fonda su un parallelo o analogia profondamente sbagliato, come vedremo. Se l'allevatore può migliorare le caratteristiche del bestiame selezionando i capi da far riprodurre, perché la viricoltura non potrebbe fare altrettanto con l'uomo? La prima risposta che viene in mente è che la riproduzione controllata dell'allevatore non comporta solo lo stratagemma della riproduzione selettiva, ma anche l'esclusione degli esemplari difettosi: espediente, questo, che nessun eugenetista avrebbe l'ardire di proporre per l'uomo, a meno che Galton non pensasse di ottenere lo stesso scopo rifiutando ai meno dotati l'assistenza pubblica, e forse anche le cure mediche e

* «Fraser's Magazine», 7, 1873.

** «Nature», 57, 1897, p. 79.

tutto ciò che poteva essere compreso nel diritto alla benevolenza, per usare l'infelice espressione di Galton.

L'analogia con l'allevamento del bestiame offre però il fianco anche a obiezioni tecniche ancora più schiaccianti. La casta di élite auspicata da Galton non sarebbe stata infatti di grande utilità se la sua progenie non avesse avuto gli stessi caratteri superiori, obiettivo che si pensava fosse conseguibile facendo sposare i membri dell'élite solo fra loro, giacché in caso contrario si sarebbe vanificato il lavoro selettivo svolto con numerose generazioni di accoppiamenti controllati.

Questa convinzione è in perfetto accordo con nozioni di genetica elementare allora molto diffuse, ossia che l'animale ben adattato sarebbe omozigote rispetto ai fattori genetici per i quali è stato selezionato e che dall'accoppiamento tra animali omozigoti rispetto agli stessi geni dovrebbe derivare una progenie di razza pura geneticamente simile rispetto a questi geni. L'élite di Galton sarebbe quindi omozigotica rispetto ai fattori genetici che hanno determinato la sua superiorità. Purtroppo, questa convinzione non corrisponde assolutamente alla realtà genetica. In natura, le popolazioni non sono omozigotiche, ma notevolmente eterozigotiche, benché la configurazione delle differenze genetiche presenti in una popolazione possa mantenersi molto stabile, come dimostrano le osservazioni compiute da Th. Dobzhansky, E. Mayr e molti altri noti studiosi di genetica delle popolazioni. L'élite non può quindi produrre una progenie di ceppo puro, ambizione che potrebbe realizzarsi solo se i fattori genetici che determinarono la sua superiorità fossero così pochi da poter essere «fissati» nella riserva riproduttiva per mezzo dell'accoppiamento selettivo allo stato omozigotico.

È quindi tutt'altro che vero che il prodotto finale dell'arte dell'allevatore sia una popolazione omozigotica: oggi l'allevamento si indirizza infatti sempre più verso la produzione e la vendita di esemplari soprattutto eterozigoti, frutto dell'incrocio tra due ceppi parentali nessuno dei quali è necessariamente omozigotico. In conclusione, l'idea che sia possibile selezionare una casta umana superiore che possa autoperpetuarsi non ha fondamento scientifico: ci si dovrebbe accontentare di fissare non più di un paio di geni considerati socialmente desiderabili, ma le ambizioni di chi auspica l'eugenetica vanno molto al di là di questo modesto risultato.

Le nozioni che abbiamo criticato finora non hanno alcun rapporto con la cosiddetta eugenetica negativa, che si propone di migliorare il genotipo umano ricorrendo a interventi genetici saltuari nella forma di consulenza matrimoniale e genetica, senza ricorrere in alcun caso alla coercizione o alla minaccia di perdita di privilegi. Si tratta essenzialmente di misure preventive, tendenti a prevenire quelle combinazioni di geni che potrebbero risultare in una progenie con gravi anomalie fisiche o biochimiche. Benché questa impostazione possa dare risultati positivi in taluni casi (tra cui la fenilchetonuria, l'emofilia e la corea di Huntington), le anomalie congenite derivanti da anormalità cromosomiche (di cui la sindrome di Down è l'esempio più vistoso) formano una categoria a sé. Non c'è dubbio che la frequenza nella popolazione della sindrome di Down è stata ridotta sensibilmente da un clima di opinione che ha condotto a una diminuzione di cinque anni dell'età media della maternità.

Le anomalie cromosomiche e le malattie che da esse hanno origine, essendo in pratica incurabili, sollevano tutti i problemi e le minacce del feticidio, che esulano però dalla genetica. Il genetista dovrà, in collaborazione col medico, richiamare l'attenzione sui dati di fatto e fornire tutte le informazioni necessarie per decidere se un feticidio premeditato sia una linea d'azione desiderabile. Una decisione va presa comunque tenendo presente che nessuno ha dato - o ha tolto - agli esseri umani il diritto di far nascere bambini fisicamente o mentalmente handicappati. Dalle informazioni fornite da ricerche sociologiche pare che i genitori moderni non ci tengano a rivendicare il diritto di mettere al mondo bambini anormali. Possiamo citare come esempio la reazione del grosso pubblico alla scoperta che la malattia emolitica del neonato è dovuta per lo più a incompatibilità del fattore Rh: a causa della convinzione diffusa, ma sbagliata, che *tutti* i bambini nati da padri con Rh positivo e da madri con Rh negativo risultino affetti dalla malattia emolitica, ci sono state giovani coppie che, dopo l'accertamento del loro gruppo sanguigno, hanno rotto il fidanzamento.

La consulenza genetica che si propone di evitare anomalie di natura genetica può assumere varie forme. Consideriamo in primo luogo il caso dell'emofilia, una grave anormalità della coagulazione del sangue in conseguenza della quale chi ne soffre va facilmente soggetto a emorragie difficilmente controllabili. Nella sua for-

ma più familiare e studiata in modo più approfondito l'emofilia è una malattia ereditaria che si trasmette come condizione recessiva legata al sesso. Le femmine sono portatrici, ma non affette dalla malattia, che colpisce principalmente i maschi; in base alle leggi di Mendel, metà dei figli maschi di una femmina portatrice saranno affetti da questa malattia, mentre metà delle figlie saranno portatrici sane. L'unico modo saggio e caritatevole per evitare la trasmissione del gene è che la femmina che ne è portatrice si astenga dall'avere figli.

La stessa strategia è consigliabile, anche se per ragioni un po' diverse, nel caso delle gravi infermità controllate da geni dominanti ad azione tardiva. Una di tali malattie è la corea di Huntington: poiché gli effetti del gene dominante si manifestano solo in età adulta, chi ne è affetto può aver figli prima che il male si manifesti. In media, metà dei figli nati dal matrimonio tra un individuo sano e un portatore del gene nocivo saranno portatori del gene dominante e saranno affetti dal male; l'altra metà saranno normali. Il portatore del gene che non si astenga dalla riproduzione metterà dunque al mondo dei figli che o contrarranno una terribile malattia in età matura, o vivranno nel perpetuo timore di contrarla. Anche in questo caso l'unica soluzione umana e socialmente giusta è di astenersi dall'avere figli.

Tra le cosiddette malattie recessive c'è la fenilchetonuria, che comporta una grave deficienza mentale. È estremamente improbabile che siano stati identificati tutti i casi di fenilchetonuria; la frequenza, limitatamente ai casi noti, è dell'ordine di 10^{-4} (un caso su decine di migliaia di persone).

Queste condizioni si dicono recessive perché per il loro verificarsi si richiede che il gene responsabile sia presente in *entrambi* i gameti che si uniscono a formare il nuovo individuo. In considerazione della piccolissima frequenza di questa mutazione e del fatto che i soggetti affetti da fenilchetonuria non si riproducono, la grande maggioranza dei casi di fenilchetonuria si risconterà fra i figli nati da matrimoni tra eterozigoti: cioè fra individui portatori entrambi dello stesso gene nocivo. Fra i figli nati da un tale matrimonio un quarto saranno sani, un quarto malati e metà portatori come i genitori. Nella tabella qui sotto illustriamo due diverse frequenze ipotetiche di malati: uno su diecimila e uno su quarantamila. Applicando il teorema di Hardy-Weinberg, le frequenze dei

portatori eterozigoti del gene saranno rispettivamente di uno su cento e uno su duecento.

Frequenza dei malati: p^2	1:10.000	1:40.000
Frequenza dei portatori (eterozigoti): $2p$	1:50	1:100
Frequenza dei matrimoni tra portatori: $(2p)^2$	1:2500	1:10.000
Frequenza del gene: p	1:100	1:200

È chiaro che se questi portatori potessero essere identificati (cosa possibile in un numero crescente di anomalie recessive, ma non ancora in tutte), l'appropriata misura preventiva sarebbe quella di scoraggiare il matrimonio tra i portatori dello stesso gene recessivo nocivo. Un eminente antropologo, ansioso di cogliere in fallo il genetista, interpretò questa raccomandazione come la proposta veramente ridicola di sconsigliare il matrimonio tra portatori di geni nocivi (proposta che, se venisse applicata, porterebbe all'abolizione dell'istituto del matrimonio, in quanto *ognuno* di noi è portatore di uno o più geni recessivi dannosi). Se la frequenza dei portatori, nei due casi presi in considerazione, è rispettivamente di uno su cinquanta e uno su cento, dalla tabella risulta che la percentuale dei matrimoni da evitare sarebbe rispettivamente di uno su 2500 e uno su 10.000, numeri che non possono essere seriamente interpretati come una grave minaccia alla libertà personale dei cittadini né al presunto diritto di mettere al mondo figli fisicamente o mentalmente svantaggiati.

Questo procedimento non è però così semplice come potrebbe apparire a prima vista. Occorrerebbe in primo luogo fare una ceruita delle coppie di fidanzati, cosa che presuppone una loro collaborazione volontaria e che si potrebbe fare solo nei casi in cui vi fossero precedenti familiari tali da far ritenere probabile o anche lontanamente possibile che l'uno o l'altro dei futuri genitori fossero portatori. Sul piano genetico, inoltre, la sospensione della selezione naturale non farebbe che aggravare il problema: infatti il gene nocivo, presente in forma mascherata nello stato eterozigotico, continuerà ad aumentare di frequenza per via della comune pressione del processo di mutazione. Quindi il problema che questo gene ci pone oggi si aggraverà sempre più al passare delle genera-

zioni. Né ci è di grande consolazione la prospettiva che si possa trovare una cura per la fenilchetonuria prima che la situazione sfugga a ogni controllo giacché una tale cura non potrebbe essere genetica ma solo sintomatica e in quanto tale avrebbe l'effetto di favorire la diffusione del gene, analogamente al provvedimento di evitare il matrimonio tra portatori.

I problemi di come affrontare le anomalie genetiche sono gravi e urgenti e lo diventeranno sempre di più man mano che diminuirà la mortalità per altre cause. Tuttavia non sarà impossibile risolverli se si useranno tatto, umanità e saggezza. [Vedi D.W. Forrest, *Francis Galton: The Life and Work of a Victorian Genius* (London 1974).]

EVOLUZIONE, PROVE DELL'

Varie correnti di pensiero contemporanee hanno suscitato in anni recenti l'impressione, e forse la speranza, che la teoria dell'evoluzione sia stata in qualche misura confutata e che la dottrina della creazione speciale sia stata riabilitata e forse posta addirittura su basi scientifiche. Né l'una né l'altra di queste opinioni hanno un minimo di sostanza, anche se comprendiamo la perplessità del profano quando gli si dice che l'accettazione dell'ipotesi dell'evoluzione non si fonda – come egli dava per scontato – sulla validità delle cosiddette prove dell'evoluzione, la maggior parte delle quali sono o poco convincenti o aperte ad altre interpretazioni, ma su prove di genere diverso e di peso ben maggiore.

Per chiarire quanto s'è detto consideriamo, per esempio, i motivi che ci inducono a credere che la Terra è «rotonda» (sferica). Quando, a scuola, si spiega ai ragazzi questa nozione si adducono prove a sostegno che a noi sembrano del tutto irrilevanti. Si dice, per esempio, che quando si avvista una nave all'orizzonte se ne scorgono prima gli alberi o i fumaioli, poi il ponte e infine lo scafo: argomentazione pochissimo convincente, giacché potrebbe essere addebitata a qualche scherzo della rifrazione, del tutto prevedibile all'orizzonte. Un'altra «prova» assai poco convincente è che se tre pali di uguale altezza fossero conficcati nel terreno lungo una linea retta, il palo di mezzo si vedrebbe più alto degli altri due (in questo caso sarebbe difficilissimo sistemare le cose in modo da rendere una tale «dimostrazione» tecnicamente accettabile).

Una volta usciti dalla scuola, la nostra convinzione che la Terra sia rotonda non dipenderà certo da queste prove. Noi accettiamo l'idea perché tutta la scienza della navigazione, le scienze aeronautiche, la geodesia, la geometria, la cartografia e la cronometria si fondano su questo presupposto: non è possibile affrontare razionalmente queste materie senza accettare la sfericità della Terra. Nessuno scienziato ha avuto bisogno, per convincersene, possiamo crederci, di guardare con preoccupazione le prime fotografie della Terra scattate dalla Luna.

Un ragionamento molto simile vale per l'ipotesi dell'evoluzione: chi respinge quest'idea – e si tratta spesso di individui sprovvisti non solo sul piano scientifico, ma anche su quello filosofico – ritiene che sia ambiguo sostenere che l'accettazione dell'ipotesi *non* dipenda dall'accettazione di certe prove dell'evoluzione. Invece noi accettiamo il concetto di evoluzione perché esso solo dà un senso alle somiglianze e diversità tra gli organismi viventi contemporanei rivelateci dallo studio dell'anatomia comparata; ai fenomeni rivelati o implicati dalla legge di von Baer, tra cui ad esempio la notevole somiglianza tra embrioni umani, d'uccello e di rettile da un lato, e dall'altro quelli dei pesci, da cui si ritiene che essi siano discesi. L'ipotesi dell'evoluzione dà inoltre un senso anche all'esistenza di animali con caratteri intermedi che diversamente non si potrebbero considerare se non esseri anomali, come rettili dotati di piume, o pesci polmonati, o mammiferi che depongono uova con guscio. Inoltre ci rende comprensibili anche le trasformazioni evolutive cui abbiamo assistito nel corso della nostra vita, come la diffusione di varianti melaniche di falene nelle campagne vicino ad aree industriali. Un altro esempio è l'evoluzione in molti ospedali di ceppi di stafilococchi o streptococchi resistenti alla penicillina e ad altri antibiotici. Infine, solo la teoria dell'evoluzione trasforma la documentazione fossile in una storia convincente. Chi crede che i fossili siano i resti di esseri viventi spazzati via dal Diluvio Universale potrebbe credere anche a qualsiasi altra cosa: nessun estremo di credulità potrebbe essere eccessivo. Solo la teoria dell'evoluzione può dare un senso agli organi rudimentali presenti in organismi contemporanei: si pensi, per esempio, alla temporanea comparsa, nel corso dello sviluppo di vertebrati superiori, di un occhio mediano (pineale) come quello che troviamo nelle lamprede.

Gli oppositori dell'evoluzione pensano spesso di segnare un punto a proprio favore dicendo che «l'evoluzione è solo un'ipotesi». Invece in questa voce abbiamo fatto uso del termine «ipotesi» proprio perché è il termine logicamente e filosoficamente più corretto per descrivere una proposizione di tale portata.* Il termine non ha alcuna connotazione spregiativa: è un segno di mancanza di cultura supporre diversamente.

Rimangono ancora molte incertezze circa i meccanismi dell'evoluzione, e qualcuna anche a proposito dell'esatta storia evolutiva delle piante e degli animali oggi esistenti. Ma la teoria dell'evoluzione è nondimeno scientificamente accettabile e pressoché universalmente accettata: essa è il prodotto di un tipo di pensiero del tutto diverso da quello da cui sono scaturite le pagine, suggestive ma fantastiche, del primo capitolo della *Genesi*.

* L'ipotesi è una proposizione provvisoriamente accettata, posta come premessa di un ragionamento deduttivo da cui si possono trarre inferenze deduttive per poi verificare se corrispondano o no alla vita reale.

FENILCHETONURIA

La fenilchetonuria, o oligofrenia fenilpiruvica, è una malattia metabolica ereditaria rara ma estremamente grave, un esempio semplice di trasmissione ereditaria recessiva, essendo l'espressione biochimica di un gene che dev'essere ereditato da *entrambi* i genitori per poter esercitare un effetto rilevabile esteriormente. Essa illustra in modo molto chiaro i molteplici effetti somatici di differenze in singoli geni. Il difetto biochimico primario è una deficienza dell'enzima epatico che normalmente catalizza la scomposizione della *fenilalanina*, un amminoacido onnipresente nella dieta umana normale. Le conseguenze immediate di questa carenza enzimatica sono un accumulo di fenilalanina nel sangue e l'escrezione di acido fenilpiruvico nell'urina. La conseguenza più grave di quest'accumulo di fenilalanina è un imperfetto sviluppo del cervello, che conduce a idiozia: è stato stimato in effetti che l'1 per cento circa dei ritardati mentali sono vittime non riconosciute della fenilchetonuria. Fra le altre anomalie conseguenti a questo difetto biochimico primario sono un'interferenza con la produzione del pigmento melanina; nei soggetti fenilchetonurici non sottoposti a trattamento ne risulta un caratteristico pallore della pelle e una colorazione chiara dei capelli e degli occhi. Fra le altre conseguenze secondarie riscontrabili nei soggetti non trattati sono disturbi del temperamento come iperattività, insonnia, ansia e a volte anche attacchi epilettiformi. La situazione in cui una varietà di sintomi in apparenza privi di rapporti fra loro possono essere ricondotti in definitiva a una singola sostituzione genica è nota come *pleiotropia* o *polifenia* dell'azione di quel gene ed è la regola piuttosto che l'eccezione.

Oggi la fenilchetonuria può essere riconosciuta molto presto per

mezzo di analisi biochimiche di routine nell'Europa Settentrionale e nel Nordamerica. Il trattamento consiste in una riduzione della fenilalanina contenuta nella dieta finché il differenziamento anatomico dell'encefalo non sia completato. Questo è un procedimento del tipo classificato da Joshua Lederberg come «eufenico»: ossia un miglioramento dell'ambiente sufficiente a diminuire l'effetto di un gene nocivo.

Un trattamento *eugenico* della fenilchetonuria potrebbe assumere una di due forme distinte. Al gene recessivo nocivo si potrebbe sostituire la sua forma normale, procedimento oggi non ancora realizzabile, anche se procedimenti analoghi possono essere messi in atto su microrganismi. La seconda possibilità consiste nel prevenire l'unione dei due geni recessivi alla cui compresenza si deve il manifestarsi del difetto biochimico. Questo è un procedimento del tutto realizzabile ogni volta che sia possibile identificare i portatori (eterozigoti) del gene recessivo nocivo. I semplici portatori non soffrono di norma gravi inconvenienti, anzi neppure svantaggi percepibili, poiché gli effetti avversi del gene recessivo sono mascherati dall'azione del gene corrispondente normale, che è dominante.

Quasi tutte le vittime della fenilchetonuria sono figli di genitori portatori entrambi del gene di questo difetto metabolico, poiché il meccanismo di quest'infermità è tale che, quando due portatori hanno dei figli, un quarto di questi saranno normali, un quarto saranno affetti dalla malattia, e metà saranno portatori eterozigoti del gene. La frequenza della fenilchetonuria potrebbe presentare una caduta verticale nel corso di una sola generazione se si potessero scoraggiare i portatori dallo sposarsi fra loro e se essi volessero accettare la cordiale raccomandazione di sposare invece qualcun altro, qualcun altro che senza dubbio sarebbe sì portatore di un qualche gene recessivo dannoso, ma non, se la cosa è umanamente evitabile, del *medesimo* gene recessivo.

A molte, molte persone – specialmente a quelle che si sono autoproclamate custodi della libertà civile e della coscienza di tutti noi – l'idea che qualcuno non debba sposare la persona prescelta appare una grossolana violazione della libertà personale, un'arbitraria privazione dei diritti naturali. Questo è però un argomento molto discutibile: chi ha conferito infatti a degli esseri umani il diritto di mettere al mondo dei bambini con gravi malattie geni-

che? E quanti insisterebbero nel volersi avvalere di tale diritto conoscendo le conseguenze della loro azione? Ha grande rilevanza ai fini pratici dell'eugenetica preventiva, anche se non incide sul principio, il fatto che la minaccia alla libertà umana insita in questo procedimento eugenetico è quantitativamente molto piccola. Una malattia recessiva con una frequenza, diciamo, di un caso su 10.000 nascite è la conseguenza della presenza di un gene recessivo con una frequenza (p) di circa $1/100$ nella popolazione. Secondo il teorema di Hardy-Weinberg, dove la frequenza del gene è di $1:100$ la frequenza degli omozigoti affetti dalla malattia, p^2 , è $1:10.000$, e la frequenza dei portatori a cui ci stiamo riferendo, gli eterozigoti, sarà di $2p = 1:50$. Il risultato di tutto questo è che la frequenza dei matrimoni fra portatori sarà di $1:2500$ ($1/50 \times 1/50$). In media, perciò, solo uno su 2500 matrimoni sarebbe controindicato a causa della presenza del gene nocivo in entrambi i partner, e ciascun partner deluso avrebbe in teoria altre 49 persone fra cui scegliere.

Queste cifre, ovviamente, ci presentano un quadro troppo favorevole, perché potremmo trovarci a dover far fronte non a una ma a varie di tali gravi malattie recessive, e il numero dei partner disponibili potrebbe concepirsi diminuire quando si prendano in considerazione anche altri geni. Inoltre la citazione di frequenze relative a una popolazione nel suo complesso non apporterebbe probabilmente molto conforto a una persona sconsigliata da un matrimonio giudicato favorevole da altri punti di vista: a meno che, ovviamente, i partner, con una serenità quasi sovrumana, non possano trovare una soddisfazione equivalente nell'aver evitato il rischio di mettere al mondo un figlio con un grave difetto biochimico.

A questo punto è necessario un avvertimento. Il fatto che le persone affette da fenilchetonuria possano condurre, grazie a una dieta a basso tenore di fenilalanina, una vita quasi normale, e l'uso di scoraggiare i matrimoni fra persone portatrici del gene deleterio, pur avendo effetti pratici positivi, sono misure tendenzialmente molto disgeniche e suscettibili di aggravare il problema della fenilchetonuria nelle generazioni seguenti. Essi hanno in pratica l'effetto di sottrarre i geni della fenilchetonuria presenti nella popolazione al vaglio della selezione naturale. La costante reintroduzione nella popolazione dei geni nocivi per mezzo di mutazioni

non viene più controbilanciata; la frequenza di un gene può venire infatti ridotta solo per mezzo della morte dei suoi portatori. In nessuno dei due regimi raccomandati il gene dannoso viene eliminato dalla popolazione, e non c'è nulla che impedisca alla sua frequenza di aumentare lentamente attraverso il processo ricorrente della mutazione.

FERTILITÀ

In demografia la fertilità è il rapporto fra il numero delle nascite e quello delle donne in età riproduttiva (fra i 15 e i 45 o 50 anni); la fecondità è invece la potenzialità o capacità riproduttiva. È questa un'osservazione che val la pena di fare perché in biologia si tende a scambiare il significato dei due termini. Per una naturale estensione di significato, un uovo è detto fertile o sterile se da esso può nascere o no un essere vivente. Poiché dei problemi connessi alla riproduzione si tratta altrove, in questa voce ci limiteremo ad affrontare i problemi della fertilità quali si presentano nell'ambito della demografia.

Nel corso degli anni trenta di questo secolo la fertilità della popolazione degli Stati Uniti e dei paesi dell'Europa Settentrionale scese a tal punto, continuando una tendenza iniziata almeno cinquant'anni prima, che si cominciarono a esprimere dubbi circa la capacità di tali popolazioni a mantenersi ai livelli raggiunti. Il demografo più famoso del mondo si disse certo che il mondo occidentale andava verso la catastrofe benché la popolazione non stesse diminuendo. L'opinione pubblica in generale non se ne preoccupò, non tenendo conto che l'aumento, o la stabilità numerica della popolazione si doveva al costante aumento percentuale di individui che avevano superato l'età riproduttiva. I demografi si applicarono con grande interesse a stabilire dei criteri di misura della vitalità riproduttiva di una popolazione, della sua capacità cioè di mantenere il proprio livello numerico tenendo conto del regime prevalente di fertilità e mortalità.

Ci si può chiedere, per esempio, quale probabilità abbia ogni singolo individuo di una popolazione di venir rappresentato da un altro individuo della stessa età nella generazione successiva. Se ci limitiamo agli individui di sesso femminile, l'interrogativo diventa: quale sarà la percentuale di nati vivi di sesso femminile in gene-

razioni successive? È questo il «tasso netto di riproduzione» (TNR) di Robert Kuczynski. Se il TNR è maggiore di uno, la popolazione aumenta; se è minore di uno, la popolazione diminuisce. Un altro indice analogo è il «tasso effettivo di incremento naturale» di Alfred J. Lotka, ribattezzato in seguito da R.A. Fisher «parametro malthusiano», che esprime il tasso di interesse composto continuo a cui l'ammontare complessivo della popolazione sta mutando in relazione ai tassi vigenti di mortalità e di fertilità. Se il valore è positivo, la popolazione sta crescendo; se è negativo, è in diminuzione.

Il tentativo di esprimere la vitalità riproduttiva di una popolazione per mezzo di un'unica misura scalare – come se volessimo misurarne la temperatura – è condannato all'insuccesso: tale ambizione pecca infatti di ingenuità, un po' come la convinzione di taluni psicologi che si possa misurare l'intelligenza con un'unica misura scalare come il QI.

Per elaborare proiezioni demografiche si ricorre oggi a un metodo del tutto diverso, in cui la quantità considerata più significativa è la grandezza media dei nuclei familiari. Questo sistema di misurazione è risolvibile molto più facilmente in variabili indipendenti veramente significative in relazione al comportamento della gente – per esempio in termini di età matrimoniale, di tasso di natalità e di struttura della famiglia.

FIGURE RETORICHE

Il mondo della biologia ha dato origine a numerose metafore e figure retoriche che arricchiscono i nostri discorsi quotidiani: non tutte però rendono giustizia agli organismi da cui hanno avuto origine. «Bere come un pesce», per esempio, si fonda chiaramente su un fraintendimento: un pesce non beve, ma compie movimenti di deglutizione solo per far circolare acqua ricca d'ossigeno attraverso le branchie.

Il detto «simili come due piselli» è sicuramente irrispettoso nei confronti della memoria di Gregor Mendel, che si è procurato un posto nel Parnaso proprio grazie alla diversità dei piselli e delle piante di pisello.

Il detto «*as dead as mutton*» (letteralmente: morto come carne di castrato) ci induce invece inevitabilmente alla riflessione che la

città di Cambridge, Inghilterra, non è certo meno famosa per le sue salsicce che per la sua università, e che uno degli ultimi atti terreni di Thomas Strangeways, lo studioso che ha dato il suo nome al famoso laboratorio di coltura dei tessuti nei sobborghi di Cambridge, fu di mettere a coltura alcune cellule fibroblastiche ancora viventi ricavate dall'interno o endosarco di una salsiccia, dimostrando così che talune cellule possono continuare a vivere anche dopo che l'organismo di cui facevano parte è «*as dead as mutton*» (morto stecchito).

L'espressione «matto come un cappellaio» è sociologica più che biologica: essa si riferisce infatti alle malattie mentali da cui erano colpiti un tempo i cappellai a causa di certe sostanze tossiche usate nella concia delle pelli. L'espressione «matto come una lepre marzolina» – per riunire qui due celebri personaggi di *Alice nel paese delle meraviglie* – imputa forse la follia della lepre all'applicazione eccessiva con cui l'animale si dedica in questo mese ai suoi esercizi erotici.

La lingua inglese continua ad arricchirsi di figure retoriche e di nuove similitudini. Quando un biologo sente dire di qualcuno che a tavola mangia con più avidità di un piranha, si compiace perché si rende conto che la sua scienza ha dato un altro gioiello che arricchisce il tesoro della lingua inglese.

FITNESS

L'introduzione nella scienza, con speciali significati tecnici, di parole che hanno una lunga storia nella lingua comune è una fonte costante di confusione. Nel caso del termine *fitness*, che nell'uso comune ha vari significati, permane nell'uso scientifico solo l'accezione di «idoneità», «efficienza adattiva» o «successo biologico». Le altre accezioni, che richiamano alla mente signori di mezz'età che fanno lo jogging intorno all'isolato o che respirano profondamente davanti alla finestra aperta, non rientrano nel termine tecnico.

La *fitness* è quella caratteristica degli organismi, delle popolazioni, o dei geni, che viene massimizzata dall'intervento della selezione naturale. La quantità o la proprietà che viene massimizzata è il cosiddetto «vantaggio riproduttivo netto», in cui l'aggettivo «netto» sottolinea che nella misurazione della fertilità si tiene con-

to della mortalità (si veda il «rapporto riproduttivo netto» alla voce FERTILITÀ).

Fu quest'uso del termine *fitness* a permettere a Herbert Spencer di descrivere la selezione naturale come quell'insieme di forze che determina la «sopravvivenza del più adatto» (*survival of the fittest*). Gli studenti più intelligenti colgono subito quanto c'è di tautologico in questa descrizione, che in pratica si può ridurre alla «sopravvivenza di chi sopravvive»; peccato solo che spesso tali studenti brillanti non mantengano le promesse e, divenuti adulti, continuano a ripetere questa critica ritenendola profondamente originale o dotata di una qualche efficacia reale. La nozione di «vantaggio riproduttivo netto» è spiegata ed esemplificata nella voce SELEZIONE NATURALE.

Un biologo saggio ha fatto rilevare che il vantaggio riproduttivo netto non è l'unica misura possibile della *fitness* nel significato generico di «idoneità» o «efficienza adattiva»; si può benissimo misurare la *fitness* del pelo che ricopriva il mammut misurandone la conducibilità termica (che è inversamente proporzionale alla *fitness*), ma bisogna aggiungere che il mammut poté evolvere questo fitto rivestimento lanoso solo perché esso gli conferiva una *fitness* in senso darwiniano – o, se così si preferisce, perché esso conferiva la *fitness* ai geni che presiedevano alla sua formazione. La nozione, introdotta di recente, di *fitness complessiva*, tiene conto esplicitamente del fatto che il vantaggio riproduttivo netto di un gene deve comprendere necessariamente ogni altro vantaggio conseguito indirettamente, nel senso in cui le cure parentali e certi tipi di cooperazione familiare possono contribuire alla propagazione dei geni di un individuo. «Con *fitness complessiva*», ha scritto un grande biologo, «si può definire quella proprietà di un singolo organismo che pare sia massimizzata, mentre ciò che in realtà viene massimizzato è la sopravvivenza del gene.»

Proprio a causa della sua provenienza dal linguaggio comune, il concetto darwiniano di *fitness* solleva ancora parecchie critiche. Almeno alcune nascono però da un fraintendimento della nozione, e in particolare dalla convinzione che la *fitness* sia misurabile solo in termini di fertilità, col sottinteso che debbano necessariamente prevalere tutti quei mutamenti genetici che permettono una maggiore fertilità.

FOGLIETTI EMBRIONALI, TEORIA DEI

La teoria dei foglietti embrionali, che in passato fu uno dei pilastri teorici dell'embriologia descrittiva classica, afferma che la tettonica fondamentale degli embrioni animali è tale che le cellule dell'embrione sono organizzate in foglietti epiteliali, strati cellulari o fogli o involucri cellulari, ciascuno dei quali ha una sorte definita e prescritta in funzione delle strutture adulte che esso infine genera. Ci sono tre strati, e i primi due si originano nel modo seguente: quando un uovo fecondato è pervenuto a suddividersi in cellule, la sfera di cellule piena di solito diventa cava formando una vescicola piena di liquido nota come *blastula*. Nella fase seguente questa sfera cava si invagina a un polo formando due strati, il più interno dei quali racchiude un tubo, l'intestino primitivo, il quale comunica con l'esterno attraverso un'apertura che persiste dando origine all'ano. Lo strato di cellule esterno è l'*ectoderma*, che, essendo l'interfaccia fra organismo e ambiente, dà origine non innaturalmente alla pelle, agli organi di senso e all'intero sistema nervoso. Lo strato interno, l'*endoderma*, dà origine all'apparato digerente e a tutti gli organi (come il fegato) che cominciano la loro esistenza come diverticoli cellulari dell'intestino. Fra questi primi due foglietti embrionali vari movimenti cellulari nell'embrione formano un terzo strato, il *mesoderma*, che dà origine ai muscoli segmentali, alle strutture scheletriche del corpo, alla muscolatura dell'apparato digerente e della parete del corpo e ai tessuti connettivi. La cavità all'interno di questo strato forma la principale cavità corporea o celoma, da cui si sviluppano i reni.

La grande attrattiva della teoria dei foglietti embrionali si fondava sulla convinzione che la formazione dei tre foglietti nello sviluppo ricapitolasse in generale l'evoluzione degli animali; così si pensava che gli organismi pluricellulari più primitivi fossero sfere cave simili alla blastula, e che a questa fosse successa una struttura a due strati, fondamentalmente simile a quella di polipi e idroidi, che avrebbe formato un grado di organizzazione bistratificato o «diploblastico». Poi, come negli embrioni, si sarebbe aggiunto uno strato medio, dando origine a un grado di organizzazione «triploblastico».

Benché oggi non si attribuisca più molto credito alla teoria dei foglietti embrionali e benché gli organi o tessuti adulti a cui i vari

strati danno origine non siano così costanti come si supponeva in passato, si riconosce però chiaramente l'elemento di verità presente nella teoria. Quando Wilhelm Vogt sviluppò la tecnica di marcare delle aree dell'embrione con pigmenti innocui per poterne seguire i movimenti nel corso dello sviluppo, divenne ben presto chiaro che lo sviluppo embrionale, nella sua fase iniziale, consiste in gran parte nel *movimento* relativo di cellule e gruppi di cellule gli uni rispetto agli altri. Tali movimenti possono aver luogo solo se la sostanza dell'embrione è organizzata in foglietti o strati in grado di scivolare o scorrere gli uni sugli altri o gli uni fra gli altri; sono appunto tali foglietti che, mediante estroflessioni e invaginamenti, espandendosi qui e contraendosi là, definiscono la struttura fondamentale dell'individuo adulto. Oliver Wendell Holmes senior (1846-1933), professore di anatomia e fisiologia alla Harvard Medical School, paragonava questo processo al lavoro di un soffiatore di vetro. La teoria dei foglietti embrionali è quindi in definitiva una teoria sulla tattica dello sviluppo più che sulla strategia dello sviluppo.

FORMA E MATEMATICA

L'applicazione di metodi matematici alla descrizione e all'analisi della forma biologica è un'impresa che ha esercitato un grande fascino sui biologi con la propensione a quantificare. Su questo problema sono stati espressi due punti di vista estremi e apparentemente inconciliabili fra loro. Così scrisse Sir D'Arcy Wentworth Thompson, autore del famoso saggio *On Growth and Form* (Cambridge 1917):

Lo studio della forma può essere semplicemente descrittivo, oppure può diventare analitico. Cominciamo col descrivere la forma di un oggetto nelle semplici parole del linguaggio comune e finiamo col descriverla nel linguaggio preciso della matematica. Un metodo tende a succedere all'altro in rigoroso ordine scientifico e continuità storica... La definizione matematica della forma ha una qualità di precisione che manca del tutto nella nostra fase anteriore della mera descrizione... Grazie ad essa siamo portati in sintonia con l'aforisma di Galileo (che risale al tempo di Platone, di Pitagora e forse addirittura della scienza dell'antico Egitto) secondo cui il libro della natura è scritto in caratteri matematici (geometrici). (p. 719)

Il punto di vista antitetico fu espresso mirabilmente da David Meredith Seares Watson, uno fra i massimi paleontologi del XX secolo, nelle sue «Silliman Lectures», *Paleontology and the Modern Biology* (New Haven 1951):

Si può stabilire l'esistenza di una reale e fondamentale somiglianza strutturale solo attraverso i processi intellettuali che caratterizzano quella branca della zoologia che è la morfologia. La morfologia è una forma di pensiero logico notevole per il fatto di non essere di tipo matematico; in effetti i suoi elementi essenziali, essendo qualità, non sono suscettibili di formulazione matematica. (p. 3)

Nei paragrafi che seguono speriamo di riuscire a dimostrare che c'è un elemento di verità in entrambi i punti di vista.

Consideriamo innanzitutto la rappresentazione matematica della forma. Da principi espressi da Descartes segue che un sistema di superfici nello spazio può in linea di principio essere sempre rappresentato mediante un sistema di relazioni funzionali fra tre variabili, x , y e z ; tali relazioni vengono convenzionalmente espresse con la formula $F(x, y, z) = 0$.

Così le corna illustrate nella figura 3a possono essere rappresentate algebricamente mediante una funzione

$$(x + cy^2)^2 + (z - y^{2/3})^2 = a(k^2 - y^2)^3.$$

Similmente, un paraboloide munito di cuspidi (figura 3b) e la sua rappresentazione più artistica (3c) sono realizzazioni spaziali della formula

$$\left[ax + \left(z^2 - \frac{a^2}{4} \right) \right]^3 \left[ax - \left(z^2 - \frac{a^2}{4} \right) \right] + k^2 a^4 y^2 = 0.$$

Avendo presenti questi esempi (forniti tutti dal Mathematics Department dello Science Museum di Londra, col cui gentile permesso sono qui riprodotti) come si può sostenere che la forma non è suscettibile di formulazione matematica? Ma Watson aveva ragione perché, negli esempi che abbiamo riportato, non si è cercato di trovare una descrizione matematica di forme date; al contrario, si è partiti dalle formule, di cui le figure presentate sono semplicemente la realizzazione geometrica.

Figura 3



Sotto l'influenza degli studiosi di geometria Julius Plücker e Jacob Steiner, la realizzazione spaziale di relazioni algebriche complesse conobbe una grande diffusione. Fu un paziente irlandese, docente presso l'antico City and Guilds College di Londra, a elaborare le formule citate nel testo: ma ci vorrebbe tutta una vita, con l'ausilio di una batteria di computer, per descrivere matematicamente la forma anche dell'organismo più semplice: un lavoro oltretutto inutile, che non fornirebbe alcuna informazione di rilievo. Dopo tutto non accade molto spesso che ci serva una descrizione minuziosa di una data forma: in biologia è spesso molto più utile poter *comparare* una forma con l'altra. Questo è un compito perfettamente realizzabile con l'aiuto della matematica, grazie al metodo delle trasformazioni che, con le sue nozioni ausiliari di varianza e invarianza, è in grado di gettar luce su concetti biologici fondamentali come quello di omologia.

Consideriamo la proiezione di una diapositiva su uno schermo rigido e immaginiamo che lo schermo sia inclinato in qualche modo rispetto alla sua posizione normale ad angolo retto rispetto all'asse ottico del proiettore e al fascio di luce proiettato. L'inclinazione dello schermo ha come conseguenza che il fascio di luce sarà intersecato ad angoli diversi e l'immagine proiettata sullo schermo risulterà distorta in un modo e in una misura che dipenderanno dalla direzione e dall'angolo di inclinazione. È possibile così generare tutta una varietà di figure geometriche, dal cerchio all'ellisse alla parabola all'iperbole e, in un caso estremo, due linee rette che si intersecano: sono queste le *sezioni coniche*. Queste

sono generate da «trasformazioni proiettive», le quali sono suscettibili di una definizione matematica del tutto esatta anche nei casi in cui noi non siamo in grado di definire matematicamente la forma dell'immagine proiettata (che potrebbe essere quella di un paesaggio, di un volto o di un animale). Ma anche nei casi in cui non possiamo definire matematicamente una forma, possiamo definire matematicamente i mutamenti di forma.

Essendo indipendente dal soggetto cui si applica, una trasformazione può essere concepita come un'operazione di proprio diritto, a prescindere dal soggetto cui si riferisce. L'espressione matematica che definisce le caratteristiche di questa operazione e ne dà le regole è una *formula di corrispondenza*, per cui si rimanda alla voce TRASFORMAZIONI.

Tenendo presente il modello del proiettore, la differenza tra le proprietà varianti e invarianti rispetto a una trasformazione balza subito agli occhi. La proprietà di essere un cerchio o un quadrato non ha alcun significato nello spazio proiettivo, perché in proiezione un cerchio diventa un'ellisse o un'altra sezione conica, e un quadrato un rettangolo; la proprietà di essere una sezione conica è invece chiaramente invariante rispetto alla trasformazione. Anche le verità contenute nei teoremi della geometria proiettiva sono invarianti rispetto alla trasformazione proiettiva: in effetti la geometria proiettiva è definita proprio in questo modo. Si possono menzionare altre due proprietà invarianti: in primo luogo la *linearità*, per cui una linea retta nella diapositiva sarà retta anche sullo schermo a prescindere dall'inclinazione dello schermo stesso, e certi rapporti specifici, quali il birapporto o rapporto anarmonico. Non è invece invariante il *parallelismo*. Fu un episodio importante nella storia della geometria quando Felix Klein (1849-1925) definì una geometria uno studio delle proprietà dello spazio che sono invarianti rispetto a un gruppo specifico di trasformazioni. In questo senso, un «gruppo» di operazioni è un insieme di operazioni tale per cui il prodotto o conseguenza dell'applicazione successiva di qualsivoglia due operazioni dell'insieme è a sua volta un membro dell'insieme.

Molti concetti morfologici che comprendiamo in modo intuitivo possono essere definiti formalmente nei termini della teoria delle trasformazioni. Qual è, per esempio, l'affinità minima che deve esistere tra due forme affinché queste possano essere compa-

rabili? Questa domanda ha una risposta precisa: due forme sono comparabili quando sono *omeomorfe*, ossia connesse fra loro da formule di corrispondenza biunivoche continue. Geometricamente ciò significa che la formula di corrispondenza che definisce la trasformazione e assimila quindi le due forme dev'essere tale che ciascun punto dell'una sia messo in corrispondenza con uno e un solo punto dell'altra, e che tale funzione sia continua. Un esempio intuitivo del realizzarsi di queste condizioni potrebbe essere costituito dalle trasformazioni che avvengono in un disegno su un foglio di gomma tirato o deformato a nostro arbitrio, *purché non venga rotto*. Le figure così connesse l'una all'altra si dicono omeomorfe; così sono omeomorfe le due forme della figura 4 e le tre della figura 5, nelle quali sono ormai andate perdute tutte le relazioni metriche. È lecito chiedersi se vi sia una qualche proprietà che rimanga invariante in condizioni così permissive. Qualche proprietà rimane in effetti invariante, giacché rimane certamente una certa affinità di base: gli invarianti principali sono le relazioni fra interno ed esterno, nonché la collocazione relativa di punti di

Figura 4

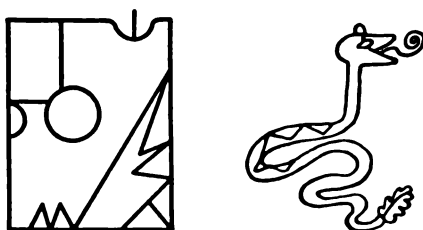


Figura 5



riferimento. Allo stesso modo avviene per il teorema di Eulero, illustrato dal primo insieme di omeomorfi: il numero degli spazi chiusi più il numero dei punti d'intersezione è eguale al numero delle linee più uno. È facile discernere le omologie esistenti in questi contesti.

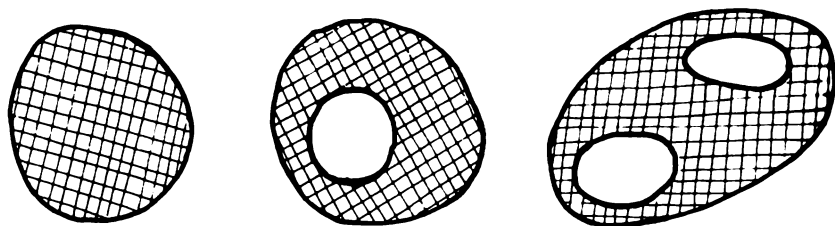


Figura 6

Mettiamo ora a confronto con questi insiemi di figure omeomorfe quelle presentate nella figura 6. Nessun processo di trasformazione continua potrebbe trasformarle l'una nell'altra. Si tratta infatti di figure non omeomorfe, di diverso ordine topologico. Se fossero organismi, potremmo assegnarli a gruppi tassonomici differenti. L'omeomorfismo è dunque una somiglianza della struttura fondamentale che unisce gli appartenenti a uno stesso *phylum*: un'affinità che non prende in considerazione le differenze che non siano differenze nella struttura fondamentale.

Riepilogando, siamo del parere che, benché di solito non sia possibile un trattamento matematico della forma, sia invece spesso possibile un trattamento matematico esatto del *cambiamento* di forma. Crediamo inoltre che ricorrendo a nozioni della teoria geometrica astratta si possano illuminare i concetti biologici di fondo della morfologia. C'è quindi parecchia verità in *entrambe* le opinioni antitetiche citate all'inizio di questa voce. Per una trattazione molto più complessa e versatile della matematica della forma, che ha ancora un'impostazione fundamentalmente kleiniana, si può vedere Benoit B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco 1982.

FRODI

Le frodi in campo scientifico sono le deformazioni coscienti e deliberate della verità per interesse personale. Sul piano morale non riusciamo a distinguerle dalle colpe più comuni nell'ambiente scientifico, come il plagio, il furto di dati o d'idee, la contraffazione di attestati favorevoli da parte di chi cerca un lavoro eccetera.

La scoperta di frodi scientifiche fa sempre molto scalpore, e poiché è verosimile che non ne venga scoperta se non una minoranza, si pensa che esse gettino un'ombra di dubbio sulla probità dell'intera professione scientifica (le frodi scoperte sarebbero la «punta dell'iceberg» per coloro che sono abituati a pensare per cliché invece che col ragionamento). È chiaro però che questo modo di procedere non è affatto giusto: possono esistere senza dubbio poliziotti corrotti, o ecclesiastici che adorano segretamente il demonio, o rettori d'università che in segreto sono contrari a ogni forma di istruzione: noi pensiamo però che essi siano l'eccezione, e non la regola.

Non ci sorprende che un gran numero di frodi scoperte siano state perpetrate nelle scienze biologiche. Nelle scienze fisiche tutto è molto più definito e preciso, e il loro oggetto molto meno mutevole. Se uno scienziato desideroso di far carriera pubblicasse una relazione inventata sulle proprietà fisico-chimiche del cetiltrimetilammoniobromuro o della triiodotiromina, verrebbe scoperto in breve tempo: si scoprirebbe che le sue affermazioni sono in contrasto con qualche legge della fisica o della chimica, e i suoi esperimenti potrebbero venir ripetuti e confutati senza grande fatica. Nulla di così confortevole si può dire purtroppo a proposito delle famose frodi biologiche: si pensi al cranio di Piltdown, confezionato appositamente per dimostrare al mondo che l'Inghilterra era non solo il trono, ma anche la culla, dell'umanità; e l'ignobile storia del topolino bianco colorato di nero per far credere che fosse felicemente riuscito un trapianto di pelle con un topo nero geneticamente differente. Questo episodio provocò enormi fastidi a coloro che lavoravano nel campo dei trapianti e macchiò la reputazione di un direttore di laboratorio a cui il colpevole doveva soltanto gratitudine. Ci fu anche il famoso caso di un professore di psicologia in un'università di Londra che manipolò i dati relativi ai QI di coppie di gemelli allo scopo di confermare la sua convin-

zione che le differenze d'intelligenza sono dovute all'eredità in misura maggiore di quanto si credesse rispetto all'educazione. La frode fu infine scoperta per merito di un abile giornalista con una buona preparazione in genetica. Ma forse il falso biologico più famoso è quello associato al nome di Paul Kammerer, che sostenne di aver dimostrato l'eredità lamarckiana nell'alite ostetrico.

La frode scientifica non ha di solito spiegazioni banali. In almeno tre degli esempi citati il movente fu una fede appassionata nella verità e nell'importanza non solo scientifica di una dottrina che, pur sembrando giusta, era così lontana dai canoni della scienza ufficiale da sembrare oggetto di una discriminazione iniqua da parte degli scienziati ortodossi. In effetti la fede nell'eredità lamarckiana arde nei suoi adepti con quell'intensità che i letterati hanno sempre considerato quasi una garanzia di autenticità. Coleridge ci assicura, come prima di lui Platone, che c'è qualcosa di divino nell'ispirazione creatrice: qualche pensiero del genere potrebbe confortare gli impostori nelle loro frodi quando si accorgono che la Natura non li segue.

Gli scienziati sono stati accusati di ingenuità e creduloneria per essersi lasciati ingannare da queste frodi. Qualcuno ha addirittura lasciato intendere che essi tendano a serrare i ranghi e a fare tutto il possibile per mettere a tacere qualsiasi cosa possa nuocere alla propria reputazione di casta sacerdotale. Questo è un modo molto superficiale di vedere le cose. Esso non tiene infatti conto di una grande verità, e cioè che la scienza, come l'attività bancaria, la politica, il matrimonio, e invero la maggior parte dei rapporti umani, è possibile solo sulla base della fiducia. Non si può vivere sempre in stato di all'erta. Il naturalista che porta timidamente un fossile al museo non si aspetta di venir ringraziato con frasi come «Un altro falso, suppongo»; e lo scienziato che presenta con orgoglio al direttore del suo istituto il suo ultimo articolo non si attende di sentirsi dire: «La ringrazio per l'articolo: io infatti, come lei sa, sono un appassionato lettore di fantascienza». In queste condizioni la scienza non potrebbe prosperare, così come non può andare avanti un matrimonio in cui il marito che rientra tardi dal lavoro si senta dire ogni volta dalla moglie: «Sei andato ancora dalla tua amica, eh?».

GENERAZIONE SPONTANEA

La maggior parte delle leggi naturali sono espresse in una forma affermativa; esse dicono cioè che, in certe condizioni, *si verificheranno* certi fenomeni naturali o certe congiunzioni naturali di eventi. Quasi tutte le leggi naturali possono però essere riformulate in modo tale da *proibire* anziché affermare il verificarsi di certi fenomeni o congiunzioni di eventi. Così è nel caso della legge della biogenesi: anche se di solito viene espressa nella forma compendiata dal familiare aforisma *Omne vivum ex vivo* (tutto ciò che è vivo deriva da qualcosa di vivo), può anche essere interpretata come una proibizione del verificarsi della generazione spontanea, la quale sarebbe un'aperta violazione della legge.

Oggi gli scienziati sono tutti d'accordo sull'impossibilità della generazione spontanea: una convinzione così radicata che qualsiasi affermazione in contrario (come quella fatta da una biologa russa negli anni cinquanta) non riscuoterebbe alcun credito.

Questa convinzione è il prodotto di una crescita molto lenta. Quando non si conosceva la dottrina della continuità genetica, l'idea che larve, topi e vermi potessero generarsi da materia inerte non appariva così ridicola come la riteniamo oggi. Nel corso del tempo le credenze sull'origine abiogenetica di animali relativamente grandi e complessi come rane e topi furono gradualmente abbandonate, e ci fu un tempo in cui si credette che potessero nascere spontaneamente solo batteri, funghi e microrganismi (compresi i protozoi). Ci fu addirittura un periodo in cui si ritenne che i composti organici, intesi in senso lato come composti che si trovano in organismi viventi, potessero formarsi solo all'interno di tali organismi. La sintesi naturale o artificiale di molecole organiche

da molecole inorganiche è una prova del fatto che la legge della biogenesi non si applica a livello molecolare.

Al tempo di Louis Pasteur (1822-1895) l'idea della generazione spontanea era ormai limitata alla possibilità che in liquidi corporei e in brodi nutritizi potessero nascere *ex novo* dei batteri. L'importanza del famoso esperimento di Pasteur consistette nel dimostrare che molti esempi di quell'apparente generazione spontanea di batteri erano in realtà suscettibili di un'interpretazione alternativa: ossia la contaminazione del liquido nutritizio per opera di microrganismi presenti nell'aria. È meglio presentare le cose in questo modo piuttosto che dire che l'esperimento di Pasteur confutò l'intera nozione della generazione spontanea, perché una confutazione *assoluta* è altrettanto elusiva quanto una dimostrazione apodittica. Esattamente nello stesso modo oggi non si crede più nel lamarckismo, in quanto tutti gli esempi di una trasmissione ereditaria apparentemente lamarckiana finora descritti sono aperti a un'altra interpretazione, più convenzionale.

Per un'esposizione autorevole della discussione sulla generazione spontanea si può consultare John Farley, *The Spontaneous Generation Controversy from Descartes to Oparin* (Baltimore 1977).

GENETICA ED EMBRIOLOGIA, TERMINI DI

I biologi in generale, e i genetisti e gli embriologi in particolare, tendono a essere meticolosi nell'uso di termini tecnici e a evitare espressioni imprecise come «il gene dell'albinismo» o «il gene dell'alta statura». Un uso linguistico impreciso tende a offuscare la natura dell'interazione fra il gene e l'ambiente in cui esso si esprime. Noi includiamo perciò qui un elenco di termini usati in genetica e in embriologia seguiti dalle spiegazioni che ci sembrano appropriate.

Accoppiamento assortativo. Espressione tecnica usata specialmente da studiosi dell'eredità umana per designare l'accoppiamento del simile col simile in riferimento a un qualche carattere naturale o ambientale specificato. Sarebbe quindi assortativa ogni tendenza di uomini e donne di statura, intelligenza, gruppo sanguigno, religione o classe socioeconomica simili ad accoppiarsi fra loro. Le predilezioni di accoppiamento, assortati-

ve o non assortative che siano, hanno chiaramente un'influenza importante sul corredo genetico di popolazioni umane: gli ebrei ortodossi, per esempio, perderebbero rapidamente i caratteri razziali distintivi che ancora posseggono se non fossero inclini a sposare altre persone della stessa fede.

Allantoide. L'escrezione di materiali di rifiuto non gassosi è un problema piuttosto serio per i vertebrati che depongono uova con guscio. I loro materiali di rifiuto liquidi o semiliquidi vengono confinati in un organo embrionale, l'allantoide, che forma un'estroflessione all'estremità posteriore dell'intestino embrionale, estroflessione che sfocia o nel sacco vitellino o nella cavità dell'amnio. Per il modo in cui si è formata, l'allantoide ha di necessità un rivestimento esterno di tessuto connettivo riccamente vascolarizzato. Questo tessuto svolge una parte molto importante nella formazione della placenta dei mammiferi superiori, in cui è presente anche un allantoide e in cui lo sviluppo è molto simile a quello di un rettile nelle prime fasi.

Allele. Le ricerche innovatrici di Gregor Mendel nel campo della genetica furono rese molto più facili di quanto sarebbero state altrimenti dalla combinazione di fortuna e discernimento che lo condusse a studiare la trasmissione ereditaria di coppie di caratteri contrari, come semi gialli o verdi, lisci o rugosi. Andò così prendendo forma la concezione che i fattori genetici siano presenti essenzialmente in coppie responsabili ciascuna di un paio di caratteri opposti.

Questo stato di cose non è affatto tipico. Di solito i fattori genetici non formano coppie ma insiemi di caratteri, dei quali, ovviamente, non possono essere rappresentati in ciascun organismo più di due per volta. Tali insiemi di caratteri sono designati come allelomorfi (dal greco *allos* = di un altro tipo o genere). Mendel studiò il caso speciale dell'allelismo binario, ma il caso più generale è l'allelismo multiplo: così i fattori che determinano le diluizioni di colore di cui l'albinismo è la forma estrema formano un sistema allelico multiplo.

Amniocentesi. Questo procedimento implica il prelievo di qualche goccia di liquido amniotico durante la gravidanza per procurar-

si cellule fetali da sottoporre a coltura, allo scopo di accertare la normalità (o anormalità) strutturale del corredo cromosomico. Con questo mezzo è possibile identificare prima della nascita un'anormalità come la sindrome di Down. Questa diagnosi può esser presa poi come base per una decisione sul futuro dell'embrione. Il procedimento, che viene spesso adottato per compiere verifiche sui feti di gestanti di età avanzata, fornisce anche il premio aggiuntivo di informare i genitori del sesso del nascituro, consentendo in tal modo agli amici e ai parenti di darsi da fare per tempo per trovargli un nome.

Amnio. Benché sia giusto dire che gli animali vertebrati si sono evoluti da animali acquatici in animali terrestri o aerei, nessuno di loro si è emancipato totalmente dall'acqua, giacché tutti gli animali vertebrati si sviluppano in quello che è realmente o virtualmente un ambiente liquido. L'organo embrionale che rende possibile questo fatto è l'amnio, una sorta di sacco formato dal più esterno fra i vari involucri che racchiudono l'embrione in sviluppo. L'amnio è rivestito da tessuto connettivo in cui corrono vasi sanguigni connessi al cuore dell'embrione. Quei vari involucri racchiudono uno spazio, la cavità amniotica, riempita da un liquido che è sotto ogni aspetto – osmotico, ionico, idrostatico – un ambiente adatto allo sviluppo embrionale. La bocca dell'embrione è aperta al liquido amniotico, che passa perciò liberamente nell'intestino fetale. Gli embrioni di tutti i vertebrati sono perciò organismi acquatici.

I vertebrati che posseggono un amnio sono designati come amnioti: sono descritti in questo modo rettili, uccelli e mammiferi, e questa designazione è tassonomicamente più corretta di quella di «tetrapodi», un'unità tassonomica in cui è possibile far rientrare gli uccelli solo con qualche forzatura.

Associazione. A rigore, l'associazione è una modificazione della legge dell'assortimento indipendente. La segregazione di fattori mendeliani e il loro ingresso casuale e indipendente in gameti diversi si verificano solo quando i fattori investigati sono portati da cromosomi diversi, una situazione più semplice di quelle che si riscontrano solitamente. I cromosomi sono infatti il veicolo di più di un fattore genetico, e tali fattori tendono a essere

ereditati in blocco nei cosiddetti gruppi di associazione, di cui il cromosoma è l'equivalente microscopico.

Assortimento indipendente. L'assortimento indipendente, che è una glossa alla legge della segregazione, dice che quando i cromosomi di coppie corrispondenti si separano, in occasione della formazione di gameti, entrano nei vari gameti indipendentemente l'uno dall'altro in posizioni casuali. Lo stesso vale per i «fattori» ereditari di Mendel quando vengono generati su cromosomi diversi.

Carattere congenito. Inteso alla lettera, il termine «congenito» viene usato solo per designare caratteri che un essere umano ha alla nascita. L'uso comune tende però a limitare il termine a deviazioni dalla norma. A nessuno fa piacere sentirsi dire di avere orecchie congenite. Esiste una grande varietà di aberrazioni congenite, alcune delle quali, come l'ANENCEFALIA e il mongolismo (DOWN, SINDROME DI), sono oggetto di voci a sé.

Codice genetico. Nelle voci BIOLOGIA MOLECOLARE e NUCLEICI, ACIDI chiariamo che l'informazione genetica viene trasmessa per mezzo dell'ordine lineare di nucleotidi lungo la molecola filamentosa degli acidi nucleici. Considerata a sé, quest'asserzione non dice niente di più dell'affermazione che nell'antiquata telegrafia Morse un messaggio viene comunicato per mezzo dell'ordine in cui si succedono impulsi elettrici o lampi di luce brevi e lunghi. In realtà, il codice genetico è noto con la stessa precisione con cui si conosce la resa in caratteri Morse di «*M'aidez*» (= *Mayday*), il segnale internazionale della sofferenza.

Nel codice genetico ogni singolo amminoacido è specificato da una tripletta di nucleotidi; poiché esistono quattro nucleotidi diversi, sono possibili 64 triplette differenti. Nel sistema del codice ci sono perciò dei casi di sinonimia, anche tenendo conto dell'esistenza di segnali per indicare l'inizio e la fine del messaggio.

Il codice genetico e le grandi linee della sua trascrizione e traduzione nelle strutture distintive di varie proteine sono uguali in piante, animali e batteri. Evidentemente nel mondo degli organismi viventi c'è un sistema di trasmissione ereditaria molto antico.

Crossing over. Come un'associazione genetica modifica la legge dell'assortimento indipendente, così il fenomeno del *crossing over* o ricombinazione meiotica modifica il principio dell'associazione nella direzione dell'assortimento indipendente. I gruppi di associazione non conservano di solito la loro integrità poiché i cromosomi corrispondenti di una coppia tendono a scambiarsi materiali e quindi ricombinano i fattori genetici associati di cui sono veicolo, un processo che arricchisce enormemente la varianza genetica.

Deriva genetica. La maggior parte dei teoremi nella genetica di popolazioni si fondano sul presupposto che i membri di una popolazione interfeconda si accoppino a caso, così che ogni membro avrebbe una probabilità uguale di essere annoverato fra i progenitori di future generazioni. Il teorema di Hardy-Weinberg chiarisce che, quando l'accoppiamento è casuale e la popolazione è divisa in parti uguali fra i due sessi, la frequenza dei geni rimane costante e quindi tali rimangono anche le proporzioni dei vari genotipi. Possiamo, però, considerare due tipi di divergenza da questa situazione. Il primo si ha quando il discostarsi dalla casualità è sistematico e conduce a un aumento nelle proporzioni di un gene o genotipo in conseguenza della selezione naturale o della ripetuta reintroduzione di un gene nella popolazione come conseguenza di una mutazione ricorrente. Il secondo tipo di divergenza è casuale; esso si verifica quando i capricci di un campionamento casuale creano una situazione in cui un gene è rappresentato nella generazione filiale più spesso o meno spesso di quanto ci si attenderebbe in un accoppiamento rigorosamente casuale. Se tale divergenza dalla casualità dovesse verificarsi per caso nella stessa direzione in varie generazioni successive, la frequenza del gene nella popolazione potrebbe mutare in conseguenza del solo caso. Si è pensato che questo fenomeno, noto come deriva genetica, sia molto importante in piccole popolazioni. In grandi popolazioni le probabilità di essere o no annoverati fra i progenitori di future generazioni tendono a pareggiarsi.

Oggi non ci sono più molti dubbi – o molte ragioni di dubbio – sull'esistenza della deriva genetica, ma sono ancora in discussione la grandezza dell'effetto e la scala del contributo che esso

dà al mutamento evolutivo. Alla nozione di deriva si oppose energicamente R.A. Fisher, che aveva la più bassa opinione possibile di Sewall Wright (soprattutto, riteniamo, per gelosia). Wright fu uno fra i principali iniziatori della genetica di popolazioni. I suoi contemporanei inglesi erano per lo più un branco di individui lividi e litigiosi, non abbastanza grandi, per la maggior parte, per concedere credito ad altri che a se stessi. La teoria di Mendel, dichiarò Fisher, avrebbe potuto essere proposta a partire da principi primi, e in ogni caso i risultati da lui presentati erano statisticamente troppo buoni per essere genuini.

Dominanza e recessività. Se l'effetto somatico di un allele si manifesta solo quando si siano ricevuti in eredità alleli uguali da entrambi i genitori, il carattere genetico di cui tale allele è responsabile si dice *recessivo* nella sua espressione; il colore verde dei semi di pisello è un esempio in proposito, investigato da Mendel. La fenilchetonuria negli esseri umani è una malattia recessiva poiché il fattore responsabile dev'essere ereditato da entrambi i genitori perché la malattia possa manifestarsi. Un gene che si manifesta anche quand'è ereditato da un solo genitore si dice *dominante* nella sua espressione; così la progenie eterozigote di un incrocio fra piselli a semi gialli e piselli a semi verdi darà semi gialli, come trovò Mendel. Alcune malattie umane, fra cui la corea di Huntington, rappresentano l'espressione di un gene dominante; la malattia si manifesta cioè anche se viene ereditata da un solo genitore. È chiaro che dominanza e recessività non rappresentano valutazioni morali: esse sono semplici formulazioni sul modo d'espressione di fattori genetici. Entrambi gli stati possono essere modificati da altri fattori genetici. In effetti, geni che sono a mezza via fra dominanza e recessività – ossia che hanno un qualche grado di espressione anche nello stato eterozigotico – possono evolversi verso una completa dominanza o verso una completa recessività d'espressione.

Anche se in teoria non dovrebbe essere possibile distinguere un omozigote dominante dall'eterozigote corrispondente (anch'esso dominante), un fattore recessivo presente nello stato eterozigotico potrebbe esercitare talvolta un effetto abbastanza forte da rendere distinguibile l'eterozigote. Ciò vale, per esempio, per i portatori eterozigoti di una qualche grave malattia re-

cessiva; il «portatore» eterozigote del gene recessivo responsabile della fenilchetonuria potrebbe avere una tolleranza men che normale per la fenilalanina, che potrebbe essere evidenziata da analisi cliniche appropriate: una considerazione di qualche importanza nella prevenzione della fenilchetonuria attraverso la dissuasione di matrimoni fra portatori.

L'algebra genetica più elementare dimostra che, quando si accoppiano due portatori eterozigoti di un certo fattore genetico, metà dei loro figli saranno eterozigoti, come i loro genitori, e l'altra metà saranno omozigoti per i due geni entrati nell'ibrido; la formulazione algebrica è $Gg \times Gg = GG + 2Gg + gg$.

Entelechia. L'«entelechia» di Aristotele è quel principio o spirito che informa una struttura e la completa sotto un qualche aspetto essenziale, rendendo attuale ciò che in precedenza era stato solo potenziale.

Nelle sue *Gifford Lectures* del 1908, il famoso embriologo sperimentale tedesco Hans Driesch (1867-1941) incentrò la sua dottrina del vitalismo su una variante della nozione di entelechia che conserva il senso e la forza dell'uso aristotelico: l'organismo è qualcosa di più della sua sostanza e della sua forma; esso è *vivo* grazie al possesso del principio vitale entelechia. Questa concezione è discussa nella voce **VITALISMO**. Il senso di completamento, essenziale nell'uso aristotelico, si può trovare anche nella dichiarazione di Paul Tillich (1886-1905) che il *coraggio* è l'entelechia che completa un uomo.

Epigenesi. Nei loro usi storici «epigenesi» e «preformazione» erano opposti; mentre il termine preformazione implicava il dispiegarsi di una struttura già presente, il vocabolo epigenesi si riferiva all'acquisizione di una struttura e a un differenziamento che si attuavano in un sistema manifestamente privo di una strutturazione, come si riteneva fosse l'uovo. Oggi invece sappiamo che l'uovo è altamente strutturato a livello molecolare e quindi quest'antitesi ha perduto ogni significato. Nell'uso moderno il vocabolo «epigenesi» sta per tutti quei processi che rientrano nell'esecuzione delle istruzioni genetiche contenute nell'uovo fecondato. «La genetica propone; l'epigenetica dispone».

Esoincrocio. Situazione caratteristica della maggior parte degli organismi liberi, in cui l'accoppiamento ha luogo fra organismi che non sono fratelli e sorelle o affini, l'esoincrocio è spesso imposto da meccanismi genetici o di sviluppo in ermafroditi e in organismi sessili che altrimenti potrebbero essere inclini all'inincrocio.

Eterozigote e omozigote. Quando un organismo riceve dai suoi genitori due alleli uguali, si dice che è omozigote rispetto a quell'allele. Così, per scegliere un esempio di Mendel, se G e g stanno per i fattori genetici che determinano il carattere dell'avere rispettivamente semi gialli e semi verdi nei piselli, un organismo che ha la combinazione di fattori GG si dice omozigote per G , mentre se avesse la combinazione gg si direbbe che è omozigote per g . L'individuo con la combinazione Gg - risultante dalla combinazione di gameti con fattori diversi - è detto eterozigote o ibrido rispetto a quegli alleli.

Frequenza genica. La rappresentazione percentuale o proporzionale di un gene nella popolazione è la frequenza genica, in cui la rappresentazione omozigotica conta per 2 e la rappresentazione eterozigotica per 1. Così se A e a designano una coppia di geni mendeliani contrari, in una popolazione in cui i genotipi si presentano nella proporzione AA , AA , Aa , Aa , Aa , la frequenza di A è di 0,7, e quella del suo allele è necessariamente $(1-0,7)=0,3$. Nel caso di accoppiamenti casuali, queste frequenze geniche si conserveranno indefinitamente sotto il regime di trasmissione ereditaria mendeliana. Il teorema di Hardy-Weinberg offre la possibilità di tradurre affermazioni sulle frequenze geniche in affermazioni sulle frequenze genotipiche.

Gamete. Un gamete è una cellula riproduttiva, e si distingue geneticamente dalle cellule somatiche per avere metà del loro numero di cromosomi. I gameti sono cellule uovo (ovuli) nelle femmine e spermii o spermatozoi nei maschi.

Gemelli. A differenza della maggior parte dei mammiferi, gli esseri umani procreano normalmente un solo figlio per volta. I parti gemellari non sono però insoliti, e i gemelli sono di due tipi.

Innanzitutto ci sono i gemelli comuni o fraterni (noti anche come gemelli dizigotici o biovulari), che in realtà sono il prodotto di due uova distinte fecondate separatamente e impiantate separatamente nell'utero. Per il modo in cui si formano, i gemelli fraterni sono geneticamente del tutto distinti fra loro e, a parte l'età, non si assomigliano fra loro più di fratelli e sorelle nati in anni diversi. Alternativamente due gemelli possono appartenere al tipo dei cosiddetti gemelli identici (detti anche monozigotici o monoovulari): questi gemelli sono nati da un singolo uovo fecondato, come se le due cellule figlie prodotte dalla prima divisione dello zigote si fossero separate e sviluppate indipendentemente. Se si escludono incidenti genetici, questi gemelli sono di necessità dello stesso sesso. In una stessa gravidanza possono essere presenti gemelli di entrambi i tipi, e i parti plurimi (trigemino, quadrigemino o pentagemino) sono spesso la conseguenza di entrambi i tipi di concezione gemellare. Così in un parto trigemellare due gemelli possono essere identici mentre il terzo può essere il prodotto di un uovo fecondato distinto.

I processi che danno origine alla formazione di gemelli identici possono a volte non completarsi. In questo caso possono nascere gemelli non completamente separati. Questi, attraverso una varietà di disavventure etimologiche, vengono spesso designati come fratelli siamesi. Il grado della saldatura può variare grandemente da un caso all'altro: a volte essi sono uniti per l'addome o dorsalmente, altre volte hanno in comune il retto.

La concezione di gemelli identici è l'unica forma di riproduzione asessuale che si trovi nei vertebrati. Essa è sfruttata dall'armadillo dalle nove fasce e dagli armadillidi in generale, la cui prole comprende di norma numerosi gemelli identici, derivati per divisione da un singolo uovo fecondato.

I gemelli dizigotici possono avere o no in comune la placenta, ossia essere sincoriali. La placenta è invece sempre in comune nei vitelli gemelli. Il sangue dei gemelli sincoriali si mescola spesso liberamente, anche se, com'è ovvio, ciascuna circolazione è distinta da quella della madre. In questo caso ciascun gemello diventa una chimera, contenendo i suoi propri eritrociti mescolati con altri appartenenti di diritto al proprio gemello.

Come prevede per primo Francis Galton, i gemelli hanno un'importanza essenziale quando ci si propone di distinguere

fra i contributi relativi dell'eredità e dell'ambiente alle differenze in caratteri umani. Le osservazioni possibili in teoria – e a volte anche in pratica – sono di una classica semplicità: le differenze riscontrate fra gemelli identici che siano stati allevati separatamente l'uno dall'altro in ambienti diversi ed esposti a influenze educative diverse possono essere attribuite non senza ragione all'ambiente. Inversamente, le differenze fra gemelli fraterni allevati assieme e, nei limiti del possibile, in modo simile, possono essere attribuite con una certa fiducia a differenze nel loro corredo ereditario.

Studi del genere possono essere utili purché le osservazioni vengano eseguite con scrupolosa onestà e a patto che si usino tecniche di misurazione valide. È perciò un vero peccato che i più famosi e più estesi fra gli studi di tipo galtoniano sui gemelli – quelli intrapresi da Sir Cyril Burt – siano risultati di dubbia probità.

Gene. La parola «gene» fu considerata dall'uomo che la usò per primo, Wilhelm Ludvig Johannsen (1857-1927), e da Thomas Hunt Morgan (1866-1945), il famoso genetista americano, un'incarnazione fisica dei «fattori» determinanti di Mendel nella trasmissione ereditaria. Il gene fu trattato nondimeno come un'entità genetica, geneticamente definita. Un gene era ciò cui si doveva una differenza di carattere unitaria: nel canone mendeliano, per esempio, il colore giallo dei semi in contrapposizione a quello verde, o la forma liscia in contrapposizione a quella rugosa. Spiegato in questo modo, un gene appare un'unità di *segregazione*; in altri sistemi potrebbe essere definito un'unità di *mutazione* o di *crossing over*.

Questa concezione puramente genetica del gene rimase adeguata per molti anni ai fini dell'interpretazione di esperimenti di incrocio. L'assenza di una definizione fisica non fu un ostacolo allo sviluppo della genetica, né tale fu considerata. Una definizione fisica del gene divenne in effetti possibile solo quando si trovò per caso la corretta concezione della natura dei geni. I geni sono stati variamente interpretati come stampi, imprimiture, modelli o campioni rappresentativi; come enormi macromolecole; come *micellæ* simili a perline di una collana, e via dicendo.

I geni non sono descritti in modo adeguato da nessuno di questi termini, poiché essi sono *messaggi*: concezione proposta per la prima volta per i cromosomi da Erwin Schrödinger (1943) e per i geni da Hans Kalmus nel «Journal of Heredity», 1 (1950), pp. 19 sgg. Cercare un segnale è impresa molto diversa dal cercare qualcosa di cui si può fare un preparato microscopico o un estratto o una soluzione. Come per molti altri problemi, le risposte vennero anche qui dalla biologia molecolare.

Genoma. Un genoma è l'apparato genetico di una specie considerata nel suo complesso e di essa caratteristico.

Genotipo e fenotipo. Il fenotipo di un organismo è il suo complesso di caratteri aperto e manifesto, mentre il suo genotipo è la sua composizione genetica espressa in termini di fattori mendeliani o geni o qualsiasi altro determinante genetico materiale. La distinzione è di importanza cruciale in genetica e nella pratica della riproduzione controllata. Così un organismo che è eterozigote per un gene dominante può avere lo stesso fenotipo dell'omozigote dominante, ma esperimenti di riproduzione controllata dimostreranno ben presto che i loro genotipi sono distinti.

Hardy-Weinberg, teorema di. L'uso dei genetisti di popolazioni di pensare in termini di frequenze geniche ha colpito molti naturalisti che lo ritengono eccessivamente astratto, ma l'algoritmo contenuto nel teorema di Hardy-Weinberg rende possibile tradurre affermazioni sulle frequenze geniche in affermazioni concrete sulla frequenza con cui si presenteranno particolari genotipi.

Consideriamo una coppia di geni mendeliani per caratteri opposti A e a presenti in una popolazione con le frequenze, rispettivamente, di $p = 0,7$ e $q = (1-p) = 0,3$. Il teorema di Hardy-Weinberg afferma che in una popolazione che si accoppi in modo casuale, e che sia egualmente divisa nei due sessi, i tre genotipi possibili AA , Aa , aa saranno rappresentati rispettivamente con le frequenze p^2 , $2pq$, q^2 . Le frequenze dei genotipi saranno quindi $AA:0,49$; $Aa:0,42$; $aa:0,09$. Queste frequenze rimangono costanti da una generazione all'altra, eccezion fatta per la

misura in cui venga fatta valere sulla popolazione una qualche «forza» impressa come la selezione: una scoperta, questa, di importanza grandissima per la teoria dell'evoluzione.

Ibridi, lussureggiamento degli. L'aumento di vigore fisico (specialmente della fertilità, longevità e resistenza alla malattia) che si riscontra nella progenie di incroci fra organismi *inbred* o parzialmente *inbred* è noto come eterosi o lussureggiamento degli ibridi. Le spiegazioni del fenomeno si fondano sul reintegro di uno stato prevalentemente eterozigotico. Ciò vale quindi con particolare forza nel caso in cui si incrocino due linee *inbred* e prevalentemente omozigotiche, ma il concetto non si applica a incroci fra membri di popolazioni umane diverse, ciascuna delle quali è probabile sia adattata al proprio ambiente ed è in ogni caso prevalentemente eterozigotica. La speciale mitologia associata alla «purezza» dell'incrocio e all'ibridità dal pubblico dei profani e da coloro che hanno una predilezione per l'eugenetica è un raro guazzabuglio privo di alcun fondamento scientifico, come nella convinzione così comune nella letteratura per ragazzi che la «razza pura» sia garanzia di coraggio, forza d'animo e di tutte le virtù virili, mentre si può esser certi che gli ibridi o i «mezzo-sangue» siano vili e infidi.

Inincrocio e linea *inbred*. Il sistema di accoppiamento in cui una linea viene perpetuata mediante accoppiamento fra fratelli e sorelle, o fra genitori e figli, è noto come inincrocio o *inbreeding*. La forma più estrema di inincrocio si riscontra nelle piante in cui è possibile l'autofecondazione (nella maggior parte degli animali ermafroditi essa non è possibile). L'effetto dell'inincrocio è quello di accentuare l'omozigosi, conducendo infine, forse, all'instaurazione di una linea pura. L'inincrocio può avere l'effetto di unire geni recessivi in qualche misura nocivi nella forma omozigotica, nella quale solo essi sono in grado di esercitare azioni normalmente mascherate da geni dominanti del tipo selvatico. L'inincrocio conduce così, di norma, a un qualche grado di deterioramento genetico: un'osservazione empirica fatta da tempo immemorabile dagli allevatori. Un certo grado di inincrocio (come nei matrimoni fra cugini) si verifica in qualche comunità umana, e le diverse religioni si differenziano nel

grado di permissività che presentano nei confronti della misura di incrocio consentita.

Una linea si dice *inbred* quando i suoi membri sono, a fini pratici, così geneticamente uniformi e così omozigoti nel loro corredo genetico quali potrebbe renderli l'incrocio. La progenie di un incrocio fra due linee del genere, pur essendo anch'essa geneticamente uniforme, è eterozigotica rispetto a ogni gene in cui le due linee parentali *inbred* differiscono.

L'incrocio è un procedimento irto di difficoltà, e conduce molto spesso all'estinzione della linea *inbred* in conseguenza dell'accumulo in essa di un numero eccessivo di geni recessivi dannosi, non più mascherati nella loro espressione da geni selvatici dominanti. La fecondità, in particolare, ne risulta compromessa così spesso da condurre semplicemente all'estinzione della linea *inbred*.

Larva. Qualsiasi forma embrionale che rappresenti una fase ben definita nel corso dello sviluppo può essere designata una larva. Così la *blastula*, la *gastrula* e la *neurula* di cui si parla in voci concernenti lo sviluppo di animali cordati, possono essere designate comunemente come larve, anche se nessuna di esse è un organismo libero indipendente. La parola larva viene però usata per lo più in riferimento a organismi liberi indipendenti, più o meno radicalmente diversi dall'individuo maturo, che si trasformano nell'adulto attraverso una metamorfosi proporzionalmente radicale: gli esempi più familiari sono quelli dei bruchi e larve che sono così spesso le fasi immature di insetti. Molte larve – specialmente quelle di animali sessili e di parassiti – contribuiscono alla diffusione degli organismi.

Le larve in quanto tali non si riproducono (ma vedi la voce sulla NEOTENIA) e vengono prodotte attraverso la mediazione dell'adulto. In taluni organismi, però, una larva può essere in un qualche senso vago altrettanto «importante» dell'adulto: e un oggetto di interesse zoologico almeno pari. Un tale giudizio potrebbe ben applicarsi, per esempio, alla larva dell'effimera, in quanto l'adulto vive solo alcune ore e potrebbe essere considerato semplicemente l'organo riproduttivo della larva.

È un corollario della legge di von Baer che le larve di forme affini tendano ad assomigliarsi fra loro più dei rispettivi adulti

che da esse si sviluppano; in vari grandi gruppi larve caratteristiche tradiscono spesso l'affinità esistente fra le rispettive forme adulte (vedi, per esempio, la voce sui CIRRIPEDI). I crostacei hanno, tipicamente, una larva nauplio, i molluschi una larva trocofora, e i ricci di mare e i loro affini una larva pluteo. La larva più famosa di tutte è, ovviamente, il girino di rane e rospi, la cui metamorfosi (implicante estesi mutamenti retrogressivi, specialmente della coda) è un piccolo miracolo della natura.

Anche la larva delle ascidie e affini è chiamata girino a causa della testa relativamente grande e della lunga coda mobile. È molto diffusa l'opinione che, in questa forma, le ascidie abbiano dato origine per neotenia alla linea che avrebbe condotto ai cordati superiori.

Le larve, si dovrebbe aggiungere, sono soggette a pressioni selettive loro proprie, e possono presentare un grado alquanto alto di evoluzione indipendente di specializzazioni che spesso hanno attinenza con la distribuzione delle relative specie. Un esempio in proposito è fornito dal lungo filo viscoso di cui è fornita la cosiddetta larva glochidio del lamelibranco *Anodonta cygnea*.

Mutazione. Una mutazione è l'inizio di una variazione ereditabile, che può aver luogo tanto nelle cellule germinali (mutazione germinale) quanto in qualsiasi comune cellula somatica che sia capace di divisione (mutazione somatica), dando origine in questo modo a un clone mutante. La base fisica della mutazione è un mutamento strutturale in uno o più dei nucleotidi che codificano le istruzioni genetiche trasmesse dal DNA, oppure può assumere la forma di un mutamento strutturale in un cromosoma. La forma alterata a cui una mutazione dà origine è nota come mutante: per esempio un gene mutante o, per estensione, un organismo mutante.

Un gene mutante è un allele del gene selvatico o normale, dal quale rappresenta una deviazione. Il gene selvatico viene talvolta indicato per brevità col simbolo +. I geni mutanti danno ovviamente origine a un ceppo di razza pura, ma possono subire ulteriori mutazioni, trasformandosi in nuovi alleli o tornando alla forma originaria + (mutazione di ritorno).

Le mutazioni hanno luogo «spontaneamente», ossia per cau-

se non accertate, con una frequenza dell'ordine di uno su decine di migliaia di gameti, frequenza che viene però accresciuta da radiazioni ionizzanti come raggi X e raggi gamma e da una varietà di sostanze chimiche, in particolare da agenti alchilanti. Anche tutte le sostanze che reagiscono col DNA o sul DNA tendono ad accrescere la frequenza delle mutazioni.

Tutti questi agenti sono aspecifici, nel senso che non causano una mutazione piuttosto che un'altra. La casualità delle mutazioni è oggetto di considerevoli preoccupazioni per gli appassionati di biologia; è però fondamentale, per una comprensione della teoria dell'evoluzione, rendersi conto che – come si ricorda nella voce **LAMARCKISMO** – «le mutazioni non si verificano in risposta ai bisogni di un organismo, né li soddisfano se non per puro caso». Non è del tutto esatto dire che le mutazioni siano la «materia prima del mutamento evolutivo», poiché ciò dà l'impressione che le innovazioni evolutive abbiano dovuto attendere, per realizzarsi, il casuale verificarsi di un mutante idoneo che, se favorevole, veniva accolto nel corredo genetico. Una formulazione più esatta potrebbe essere che i geni mutanti provvedono alla diversità genetica e che, sotto lo stimolo della fusione sessuale nel genoma, il *crossing over* in combinazione con la comune segregazione mendeliana fornisce un vasto spettro di variazione genetica su cui si esercita la discriminazione selettiva.

Non è un carattere intrinseco delle mutazioni selettive che i mutanti siano nocivi, ma spesso lo sono, e la cosa non può sorprendere, considerando che rappresentano un disturbo nell'esistente equilibrio genetico; né è un carattere intrinseco dei mutanti che siano recessivi, anche se spesso lo sono. Secondo l'originale teoria di R.A. Fisher, i geni mutanti sono, in generale, «completamente dominanti». Essi hanno cioè una qualche espressione nello stato eterozigotico, dopo di che possono evolversi verso la dominanza o la recessività d'espressione a seconda che i loro effetti siano favorevoli o sfavorevoli.

Ontogenesi e filogenesi. L'ontogenesi di un organismo è, letteralmente, il suo venire all'essere, e il termine viene usato di solito per significare il suo sviluppo considerato nella sua totalità. La sua filogenesi è, per contro, il suo venire all'essere nel corso

dell'evoluzione e il termine può quindi essere usato per designare la sua storia evolutiva considerata nella sua totalità. La legge di ricapitolazione viene talvolta espressa sinteticamente nella forma «L'ontogenesi ricapitola la filogenesi».

Oocito. Il gamete femminile o cellula uovo, noto come oocito o ovocito, ha solo il numero aploide di cromosomi. Esso contiene cioè solo un cromosoma per ciascuna delle coppie caratteristiche dei tessuti della femmina (il numero dei cromosomi viene riportato alla normale condizione diploide per mezzo dell'unione con uno spermatozoo, che contiene anch'esso il numero di cromosomi aploide).

La grandezza e la struttura degli oociti, che presentano variazioni enormi da un organismo a un altro, dipendono dalla quantità di tuorlo contenuta nell'uovo e dal numero e natura degli involucri protettivi che racchiudono l'uovo. Alcune uova sono quasi prive di tuorlo, e l'intera sostanza dell'uovo, dopo la suddivisione in cellule, partecipa allo sviluppo dell'embrione; ma le uova degli anfibi, dei rettili e specialmente degli uccelli contengono tuorlo che, nel corso dello sviluppo, viene relegato in una posizione extraembrionale finché non viene avvolto da cellule dell'intestino embrionale; da questo momento esso potrà essere consumato nel corso dello sviluppo. Nelle uova dotate di una grande quantità di tuorlo, solo una cupola polare della cellula uovo, il disco germinativo o blastoderma, partecipa alla formazione dell'embrione. L'uovo di struzzo dev'essere la cellula più grande esistente.

A differenza degli spermatozoi, gli oociti di animali invertebrati non vengono reintegrati. In generale una femmina ha alla nascita una dotazione finita di oociti, dotazione che andrà consumando nel corso di tutta la vita. Stando così le cose, sarà selettivamente vantaggioso tutto ciò che potrà massimizzare la probabilità di fecondazione dell'oocito e proteggerlo durante i primissimi giorni di vita. Viene premiata anche una pronta fecondazione di un oocito appena liberato. Emil Witschi e altri hanno dimostrato che la fecondazione di uova troppo mature può condurre a varie anomalie di sviluppo. L'evoluzione di cicli sessuali ha massimizzato le probabilità di fecondazione dell'uovo e di sopravvivenza dell'embrione.

C'è un altro senso in cui uova «giovani» sono preferibili a uova più vecchie: se si pensa che ogni femmina riceve una dotazione completa di oociti alla nascita, è chiaro che gli oociti che si staccano via via dall'ovario di madri meno giovani sono stati esposti per un tempo più lungo a ogni sorta di influenze avverse, fra le quali si annoverano soprattutto le radiazioni ionizzanti e le sostanze chimiche tossiche, ai cui effetti l'oocito non può mai essere totalmente sottratto. Esistono ampie prove del fatto che le anomalie cromosomiche, fra cui in particolare quelle che danno origine alla sindrome di Down, sono più frequenti nei figli di madri meno giovani. Anche i parti gemellari (dizigotici) sono più frequenti fra i figli di madri meno giovani.

Parabiosi. La parabiosi, stratagemma sperimentale che un tempo godette di una certa popolarità, è un procedimento inelegante, e che in generale fornisce poche informazioni, nel quale due animali vengono uniti chirurgicamente nella speranza che la loro circolazione sanguigna si fonda e diventi confluyente. Le recenti conoscenze forniteci dai trapianti hanno chiarito che, se i partner nella parabiosi sono geneticamente diversi, non si potrà conseguire un'unione vascolare efficace, poiché ciascun partner è in tal caso un omotrapianto sull'altro. Quasi tutto ciò che si può fare con la parabiosi può essere realizzato con metodi più semplici e più efficaci implicanti l'uso di trapianti cellulari.

Placenta. I mammiferi superiori, descritti come placentali o placentati, si distinguono per il possesso di un organo embrionale – appunto la placenta – che è il mezzo in cui si verificano quasi tutte le transazioni fisiologiche fra la madre e il feto, e che rende possibili sia la respirazione sia la nutrizione. La placenta è formata dall'apposizione di membrane embrionali vascolarizzate alla parete dell'utero, e le superfici di contatto presentano molteplici convoluzioni, in modo da accrescere enormemente l'area di confine fra madre e feto.

La placenta si forma, per così dire, opportunisticamente nei membri di tutte le classi di vertebrati eccezion fatta per gli uccelli. Considerata in astratto, una placenta potrebbe essere formata dall'uno o dall'altro dei due organi estremamente vascolarizzati che sono uniti all'embrione, di cui fanno parte restando-

ne però anatomicamente all'esterno, ossia l'*allantoide* e il *sacco vitellino*. Esistono in effetti placente di entrambi i generi, ed entrambe si trovano fra i marsupiali: il dasiuro viverrino o gatto marsupiale ha una placenta derivata dal sacco vitellino, mentre i peramelidi o bandicoot hanno una placenta derivata dall'allantoide.

I mammiferi superiori hanno una placenta derivata dall'allantoide, e un tempo si dava per scontato che questa placenta fosse il mezzo in cui avevano luogo *tutte* le transazioni fisiologiche fra madre e feto. Col tempo si è però chiarito sempre più che anche il sacco vitellino è una via di comunicazione importante, specialmente per gli anticorpi materni che entrano nel feto. Nei canguri, in particolare, una secrezione nutritizia dell'utero, anziché passare per la placenta, viene assunta direttamente nel sacco vitellino.

Dal modo in cui si forma, la placenta deve avere origine in parte materna e in parte fetale; l'elemento fetale a più stretto contatto con i tessuti della madre non è riccamente dotato di quegli antigeni che nei trapianti d'organi suscitano reazioni di rigetto. Per questa e altre ragioni un feto mammaliano non è trattato come un corpo estraneo e non viene rigettato dai meccanismi di difesa immunologica, anche se ci sono circostanze in cui taluni ingredienti embrionali possono immunizzare la madre (vedi la voce RH, FATTORE).

Polimorfismo. Il polimorfismo è la suddivisione stabile di una popolazione intrafeconda in vari tipi genetici che tendono a mantenere le loro proporzioni di generazione in generazione e che sono tali che persino il variante meno frequente si verifica troppo spesso per poter essere spiegato semplicemente dalla pressione delle mutazioni correnti. Fra gli esempi più noti sono la suddivisione degli esseri umani nei gruppi sanguigni A, B, AB e 0 o nei tipi descritti come Rh positivo e Rh negativo. Meno familiare è la suddivisione di popolazioni di esseri umani e di topi in gruppi diversi di sistemi tissutali, quelli designati rispettivamente come HL-A e H-2. Un altro polimorfismo è dato dalla capacità o incapacità di percepire il sapore del composto feniltiourea (fenilcarbammide), che per alcune persone è insapore e per altre – così ci dicono – molto amaro. Un altro esempio, teoricamente

molto importante, di polimorfismo è la suddivisione delle popolazioni dell'Africa Occidentale e del bacino mediterraneo in individui con emoglobina normale (A) e individui con la variante recessiva anormale (S), la quale si manifesta sotto forma del carattere drepanocitico negli eterozigoti o sotto forma dell'anemia drepanocitica negli omozigoti SS.

La frequenza anormalmente alta di quelli che sono talvolta geni estremamente nocivi e la stabilità del polimorfismo da una generazione all'altra fanno ritenere molto probabile un rafforzamento sul piano genetico, per il quale si possono ipotizzare come possibili vari meccanismi. I varianti, per esempio, possono essere reciprocamente dipendenti per la propria perpetuazione. Ciò vale per il dimorfismo sessuale, che è imposto geneticamente.

La situazione più comune è però quella in cui il polimorfismo si conserva grazie al fatto che un eterozigote gode di un vantaggio selettivo su entrambe le corrispondenti forme omozigotiche (vedi DREPANOCITICA, ANEMIA). Se predominano gli eterozigoti, la loro progenie sarà formata da omozigoti ed eterozigoti in ugual numero, una situazione che tende ad autoperpetuarsi. Il vantaggio selettivo non è affatto sempre evidente, e a volte è più un pio desiderio che non un vantaggio riproduttivo netto dimostrato in modo convincente.

Il polimorfismo, in ogni caso, non è una rarità o una curiosità, ma un fenomeno comune in tutte le popolazioni normali. Il polimorfismo di geni che codificano macromolecole strutturali si trova quasi dovunque lo si cerca, un fatto che fa sorgere qualche dubbio sulla convinzione ortodossa che causa del polimorfismo sia *sempre* il vantaggio degli eterozigoti.

Popolazioni, genetica di. Nella biologia si ebbe un'autentica rivoluzione teorica quando la concezione della genetica di popolazioni soppiantò la concezione genealogica o dinastica. Quest'ultima era stata dura a morire a causa dell'abitudine inveterata a considerare il corso dell'evoluzione nei termini di un albero genealogico («I pesci generarono gli anfibi, gli anfibi generarono i rettili, e i rettili a loro volta generarono da un lato gli uccelli e dall'altro i mammiferi...»).

La genetica di popolazioni modificò tutto questo. Ciò che si

evolve è una *popolazione*, non un albero genealogico, e il prodotto dell'evoluzione non è *un* diverso organismo o *un* nuovo «tipo», ma piuttosto una nuova popolazione, i cui membri hanno uno spettro di combinazioni genetiche che garantisce un superiore adattamento alle forze selettive, quali che esse possano essere. Questo modo di considerare le cose è del tutto diverso da quello che figurava nelle tavole genealogiche convenzionali dell'evoluzione e sarà discusso ulteriormente nella voce NEO-DARWINISMO.

Riproduzione asessuale. La riproduzione che non è mediata da gameti bensì da cellule riproduttive come spore o che si verifica per gemmazione dal corpo del genitore è nota come riproduzione asessuale. Essa conduce alla formazione di cloni di organismi dotati dello stesso corredo genetico del loro progenitore, cosicché con questo sistema non si ha un aumento della diversità genetica. Questa forma di riproduzione è molto comune fra animali sessili e in piante: di qui l'espressione «riproduzione vegetativa», spesso usata per la riproduzione asessuale in animali. Essa è strettamente connessa alla facoltà di rigenerazione e si presta naturalmente alla formazione di colonie di individui attaccati l'uno all'altro, come in coralli e polipi. È del tutto distinta dalla partenogenesi, che è una variante della riproduzione sessuale. I parti gemellari del tipo monozigotico (vedi la voce GEMELLI) rappresentano l'unico tipo di riproduzione asessuale nei vertebrati.

Sacco vitellino. Nei vertebrati che depongono uova con guscio, il tuorlo è contenuto all'interno di una doppia membrana nota come sacco vitellino o sacco del tuorlo. Anatomicamente parlando, il sacco vitellino è un'estensione dell'intestino dell'embrione. Il suo rivestimento interno non ha soluzione di continuità con quello dell'intestino, e il suo rivestimento esterno è un tessuto connettivo riccamente permeato da vasi sanguigni che lo connettono col cuore dell'embrione. I sacchi vitellini non sono necessariamente pieni di tuorlo, come suggerisce la denominazione alternativa di sacchi del tuorlo: uno fra i modi più importanti in cui i mammiferi tradiscono la loro discendenza dai rettili è attraverso il possesso di questo sacco, che svolge una parte

importante nella nutrizione dell'embrione e nei suoi scambi fisiologici con la madre.

Segregazione. Espressa in termini microscopici anziché in termini puramente genetici, la legge di segregazione di Mendel dice che, nella formazione dei gameti, i cromosomi di ciascuna coppia si separano l'uno dall'altro ed entrano in gameti separati. In termini genetici, i fattori responsabili della determinazione di coppie di caratteri contrapposti negli esperimenti classici di Mendel (semi lisci contrapposti a semi grinzosi, o semi gialli contrapposti a semi verdi; piante alte contrapposte a piante basse) entrano in gameti diversi. La segregazione dei fattori genetici nella formazione dei gameti, seguita dalla riunione casuale dei gameti nella fecondazione, rende possibile la ricombinazione genetica, che viene prodotta dalla riproduzione sessuale.

Sesso, determinazione del. L'espressione «determinazione del sesso», intesa a volte nel senso di accertamento del sesso, a volte come scelta preventiva del sesso e altre volte ancora come il processo in conseguenza del quale un animale appartiene a un sesso anziché all'altro, è molto ambigua. Cominceremo col terzo senso.

Nei vertebrati la differenziazione primaria del sesso viene prodotta dalla segregazione di una coppia sopranumeraria di cromosomi, noti come cromosomi sessuali per distinguerli dagli altri, gli «autosomi», che svolgono comuni funzioni somatiche. Nei mammiferi in generale, e certamente negli esseri umani, il sesso maschile è contraddistinto dal possesso di una coppia di cromosomi sessuali diversi, detti X e Y. Il genotipo maschile in riferimento al sesso è quindi XY, mentre il genotipo femminile è XX, dato che la femmina ha due cromosomi uguali. Nella formazione dei gameti nei maschi, i cromosomi sessuali, come gli autosomi, si segregano, ossia si separano l'uno dall'altro, così che si formano due classi di spermî, in numero press'a poco uguale: spermî portatori del cromosoma X e spermî portatori del cromosoma Y. Qui il maschio è il sesso eterogametico. La femmina, essendo omogametica, produce oociti portatori tutti di un cromosoma X. Ne segue che, alla fecondazione, ci sono uguali probabilità che un uovo sia fecondato da uno spermio

portatore di un cromosoma X, dando origine in questo caso a una femmina, o da uno spermio portatore di un cromosoma Y, dando origine a un maschio. Questo meccanismo spiega la quasi perfetta uguaglianza numerica fra i sessi alla concezione. In alcuni mammiferi il cromosoma Y è assente e il genotipo del maschio è rappresentato perciò come XO.

Il sesso della prole è ovviamente determinato dal sesso eterogametico: nei mammiferi il sesso che determina il sesso è quello maschile, mentre negli uccelli è quello femminile.

Nei mammiferi, se si vuol produrre un sesso anziché l'altro si deve evidentemente operare sullo spermio. Questo argomento ha una certa importanza nell'allevamento del bestiame, e non è stato tralasciato nessuno sforzo nel tentativo di separare spermî portatori di cromosoma X da spermî portatori di cromosoma Y ai fini dell'inseminazione artificiale. Benché siano stati compiuti miracoli di ingegnosit , gli sforzi finora profusi non hanno dato alcun risultato concreto. Quanto all'accertamento del sesso (il primo dei tre significati distinti sopra), esso   reso possibile dall'identificazione, in cellule embrionali, del corpo di Barr, cui si accenna nella voce CROMOSOMI. L'accertamento del sesso   in genere un premio conseguente all'uso cautelativo dell'amniocentesi.

Il meccanismo della diversificazione sessuale   tale da fornire un rapporto fra i sessi di 100:100 alla concezione, ma il rapporto fra i sessi risulta diverso alla nascita e muta nel corso di tutta la vita, soprattutto perch  nell'utero e poi anche dalla nascita in poi il maschio   sotto molti aspetti – specialmente nella resistenza alle infezioni – pi  vulnerabile della femmina. Perci  le vedove sono in numero molto superiore ai vedovi e in generale le donne anziane sono molto pi  numerose degli uomini anziani. Negli esseri umani i maschi sono alla nascita in numero superiore alle femmine in una misura che sembra dipendere dallo stato generale di salute, dalla struttura per et  e dal benessere della popolazione. In condizioni favorevoli (favorevoli sotto tutti gli aspetti tranne che sotto quelli attuariali) il rapporto dei sessi pu  salire sino a 106:100. Secondo una comune esperienza, il rapporto fra i sessi crescerebbe a favore dei maschi durante e immediatamente dopo grandi guerre. Sono state proposte varie spiegazioni di questo fenomeno, e la pi  popolare   che durante

e dopo le guerre la proporzione particolarmente alta di giovani spose e giovani madri, che forniscono l'ambiente uterino più favorevole, ha l'effetto di preservare meglio i più vulnerabili fra i feti di sesso maschile, che sarebbero più facilmente vittime di infezioni nell'utero di gestanti meno giovani. L'assunto che è alla base di questa spiegazione, a favore del quale non ci sono però ancora dimostrazioni conclusive, è che il rapporto primario dei sessi (il rapporto dei sessi alla concezione) sia a favore dei maschi. In ogni caso l'effetto di un rapporto relativamente alto dei sessi a favore dei maschi alla nascita è quello di produrre un'uguaglianza approssimativa fra i sessi negli anni fecondi, uguaglianza che, pur essendo altamente desiderabile in una società monogamica, è abbastanza spesso perturbata da guerre, migrazioni e altri movimenti demografici.

Una combinazione di tutti questi fattori, e specialmente di migrazioni di maschi, determinò la situazione propria dell'Inghilterra vittoriana, nella quale il numero delle donne in età di matrimonio fu di gran lunga superiore a quello dei possibili mariti, conducendo in tal modo a un penoso eccesso di donne nubili: questo fu il grande periodo delle governanti e delle bambinaie, alle quali spesso non si perse occasione di far sentire la presunta inferiorità della loro posizione. Sir W.S. Gilbert, le cui facili filastrocche furono musicate da Sir Arthur Sullivan, colse perfettamente la sensibilità del pubblico teatrale mettendo in scena una quantità di anziane zitelle con aspirazioni matrimoniali. Questo aspetto e altri aspetti affini del carattere di Gilbert contribuirono a fare di lui una fra le figure più sgradevoli nella storia del teatro.

Sistema genetico. Il sistema genetico di una specie è il complesso di tutto ciò che provvede alla trasmissione di informazione genetica da una generazione alla seguente. Un elemento molto importante è il sistema di accoppiamento, sia che implichi inincrocio o esoincrocio sia che incorpori o no qualche elemento di accoppiamento assortativo. Un altro elemento del sistema genetico è ovviamente il modello di comportamento dei cromosomi: per esempio la frequenza del *crossing over*.

Varianza genetica. La metà della varianza fenotipica di una popo-

lazione che consegue a differenze genetiche fra i suoi membri è nota come **varianza genetica**. Se si esprimono le proprietà misurabili dei membri di una popolazione in termini di deviazioni, positive o negative, dal loro valore medio, la varianza del carattere misurato, che è necessariamente una quantità positiva, è il valore medio dei quadrati delle deviazioni dalla media. Nella trasmissione ereditaria mendeliana la varianza genetica non presenta alcuna tendenza a diminuire da una generazione all'altra, come avverrebbe se fosse la regola la mescolanza dell'eredità. Questo è il teorema che ha la massima importanza nella teoria mendeliana del processo evolutivistico.

Zigote. Uno zigote è la cellula riproduttiva formata dall'unione di gameti maschili e femminili, in cui viene reintegrato il regolare numero diploide dei cromosomi.

GENETICISMO

La parola «geneticismo», che è un neologismo deliberatamente spregiativo, designa la convinzione che l'eredità biologica e il corredo genetico non siano solo importanti, ma abbiano un ruolo supremo nel plasmare l'individuo e l'umanità in generale. I geneticisti pensano che si dovrebbero cercare spiegazioni genetiche non solo per differenze di caratteri come quelle studiate da Mendel, ma anche per l'ascesa e caduta di nazioni, per la stratificazione della società, per l'esistenza di differenze nazionali nella pronuncia (come la capacità o incapacità di pronunciare la *theta* in un modo che la differenzi dalla *zeta*), e – soprattutto – per differenze di intelligenza. In effetti, ignorando del tutto considerazioni come quelle da noi esposte nella voce **EREDITÀ E AMBIENTE**, qualche autore ha affermato che l'intelligenza è per l'80 per cento ereditabile (ossia determinata geneticamente).

Uno fra gli errori più gravi e più diffusi del geneticismo è la convinzione che, se un carattere è condiviso da *tutti* gli individui di una comunità, deve avere una base genetica. Così, se dovesse risultare che una certa forma linguistica di base come la forma aristotelica soggetto/predicato è un elemento di tutte le lingue del mondo, si dovrebbe pensare a una programmazione del suo uso a livello del corredo genetico. (Alcuni fra gli scritti di Noam Chom-

sky non sono innocenti di questo peccato, che presenta affinità anche con la sociobiologia, seguendo una rotta perigliosa fra la Scilla del geneticismo e la Cariddi dello storicismo.) Può esser bene ripetere in questo contesto la ragione per cui questo canone supremo del geneticismo non è soddisfacente: perché un qualche carattere possa essere giudicato «ereditario» o programmato geneticamente, dev'esserci qualcuno che non lo possiede. La capacità di sentire il sapore della feniltiocarbammide, per esempio, ha notoriamente una base genetica proprio in quanto ci sono persone che non la possiedono.

L'adesione al geneticismo conduce a una sistematica svalutazione dell'idea di eredità culturale, qual è descritta nella voce ESOGENETICA, EREDITÀ, e anzi a un'attiva ostilità contro di essa. L'importanza e il carattere dell'eredità culturale furono riconosciuti per la prima volta da Thomas Hunt Morgan, che fu secondo solo a Mendel per importanza nella storia della genetica. La caratterizzazione, per opera di Morgan, di quella che oggi è chiamata talvolta evoluzione psicosociale fu rifiutata in termini mordaci da C.D. Darlington, che era allora professore di botanica all'Università di Oxford e notorio fautore del geneticismo. (Si può vedere in proposito la sua recensione, in «Nature», 278 [1979], pp. 786-787, del libro di Morgan *Scientific Basis of Evolution*, New York 1932.) La fama di Morgan è però sopravvissuta a quella di Darlington, e la nozione di eredità esogenetica sopravviverà senza dubbio a entrambi.

GENIO E FOLLIA

L'idea che esista una stretta connessione fra genio e follia è un vecchio pregiudizio. Il suo motivo di maggiore interesse risiede nel fatto che è entrata a far parte delle stupidaggini convenzionali. La formulazione più nota di quest'idea in lingua inglese – nella quale pare si presti più attenzione al metro che al senso – è di John Dryden:

*Great wits to madness sure are near allied
And thin partitions do their bounds divide.*

[Genio e follia van quasi sempre assieme/ e una linea sottile li divide.] Si dice che Dryden abbia attinto questa nozione da Sene-

ca. Di fatto essa risale fino ad Aristotele e al «divino rapimento della creatività» di Platone. Cesare Lombroso fu fra i primi a suggerire l'esistenza di una correlazione fra genio e follia, mentre Henry Maudsley la negò recisamente; l'intera storia dell'idea è fatta per intero di affermazioni in un senso e nell'altro. È questa una nozione letteraria più che psicologica; Pascal, per esempio, scrisse: «L'extrême esprit est voisin de l'extrême folie» [L'estrema intelligenza è prossima all'estrema follia].

Quando ci si trova di fronte a semplici affermazioni e controaffermazioni, non si può far di meglio che rivolgersi per orientamento a qualche autore di forte e vasta intelligenza; e chi risponde a questa caratterizzazione meglio di Samuel Johnson, che in *Life of Cowley* scrisse: «Il vero genio è una mente di grandi capacità generali accidentalmente determinata in una qualche direzione particolare»? Quest'opinione fu espressa anche da Charles Lamb nel saggio *The Sanity of True Genius*. Senza dubbio egli parlava con una qualche autorità personale a causa della grave forma di follia diffusa nella sua famiglia; egli stesso perdeva periodicamente la ragione.

La maggior parte delle prove a sostegno della correlazione fra genio e follia sono contenute in aneddoti o testimonianze su uomini o donne di grandissime doti che ebbero una disposizione nevrotica o ipomaniacale. Ma se questo metodo di investigazione viene portato al limite, possiamo stabilire facilmente una correlazione fra follia e genio di seconda categoria; uomini come Friedrich Nietzsche, Robert Schumann e Charles Lamb ebbero in verità un grande talento, ma non a un livello tale da indurci a considerarli geni. Si può dire, inoltre, che essi non avrebbero potuto essere così grandi come furono se la loro mente non fosse stata in qualche misura sconvolta?

È ancora difficile capire perché quest'associazione fra genio e follia, che ci sembra intrinsecamente contraddittoria, abbia potuto attecchire così facilmente. Probabilmente è perché sembra dare un certo appagamento alla mediocrità. «Forse non sono tanto brillante», può dire un individuo di mente un po' tarda, «ma almeno non sono matto».

GERARCHIA

Sistema di ordinamento che si trova esemplificato molto spesso in biologia, una gerarchia è una serie in cui ciascun membro è incluso nel membro che lo precede e include tutti i membri che lo seguono. Un ordinamento gerarchico analogo è rappresentato dalle varie unità delle forze armate: armata, divisione, brigata, reggimento, battaglione, compagnia, plotone e squadra costituiscono una gerarchia, e lo stesso vale anche per gli ufficiali, sottufficiali o graduati appartenenti a ciascun livello. Similmente, le unità tassonomiche che formano una classificazione biologica costituiscono una gerarchia: regno, *phylum* o tipo, *subphylum* o sottotipo, classe, ordine, famiglia, genere, specie formano una gerarchia in cui si inserirà ogni nuova unità tassonomica che verrà introdotta, come grado, coorte, sottordine o sottospecie. Anche le popolazioni di organismi manifestano una gerarchia di composizione, cominciando al vertice con una comunità all'interno della quale possono esistere unità minori, come razze geografiche e famiglie.

Similmente, i singoli organismi sono composti da organi formati da tessuti: i tessuti a loro volta sono fatti di cellule, all'interno delle quali esistono organi cellulari costituiti da una varietà di macromolecole che possono risolversi di solito in semplici monomeri, composti ovviamente da radicali e da atomi: e la gerarchia termina al livello delle particelle elementari. Questa gerarchia di composizione può essere messa in corrispondenza con la gerarchia delle scienze biologiche, cominciando con l'ecologia, continuando con la biologia degli organismi e con la biologia cellulare, e terminando con la biologia molecolare. La gerarchia può essere letta ovviamente in entrambi i sensi, e l'ordine che le viene conferito non va inteso come un ordine di merito o un ordine che rappresenti il rispettivo grado di stima di sé di coloro che ne fanno parte. L'ordine di beccata attualmente vigente nella comunità dei biologi mette al primo posto i biologi molecolari, ma questo modo di vedere le cose non è condiviso dagli ecologi, che hanno un senso di orgoglio molto spiccato nutrito dal fatto che la loro disciplina abbraccia il contenuto empirico di tutte le discipline sottostanti nella scala, oltre ad avere idee contestualmente distintive o «emergenti» sue proprie.

Poiché le gerarchie si compongono di elementi che hanno a loro

volta una struttura gerarchica, si è tentati di supporre che la corrispondenza puramente formale fra i vari elementi indichi l'esistenza di un qualche isomorfismo fondamentale. Sarebbe inopportuno mettere in corrispondenza una società politica e un organismo, con i granulociti nel ruolo di poliziotti o forse addetti alla nettezza urbana in miniatura, i vasi sanguigni in quello di vie di comunicazione e il sistema nervoso con i compiti di una sorta di super centrale telefonica incorporata. Il prodotto finale di questo orientamento di pensiero erroneo è ovviamente il concetto del regime corporativo, in cui c'è un posto per ogni cosa e ogni cosa è al suo posto, e in cui ogni attività che non sia obbligatoria è proibita.

A questa tentazione non sfuggì Arthur Koestler, che ne trattò in *Act of Creation* (London 1964). Koestler diede una buona esposizione della nozione di gerarchia, ma poi dichiarò*

che a ciascun livello della gerarchia operano principi «omologhi», con la conseguenza che ciascun fenomeno a un livello deve avere il suo omologo o la sua controparte formale a ciascun altro livello. In particolare, troveremo degli «equivalenti mentali» di ciò che si verifica a livelli inferiori nella gerarchia, e inversamente, potendo noi salire o discendere la scala delle corrispondenze, equivalenti fisici di ciò che accade a livello mentale. Lo «stress creativo» dell'artista o dello scienziato corrisponde alla «reazione generale di allarme» dell'animale ferito, e il sogno è l'equivalente mentale dei processi di rigenerazione che riparano usura e lacerazioni. Lo sviluppo embrionale ha una certa qualità autoassertiva, e lo stesso vale per le «matrici percettuali». Un'analogia non ancora verbalizzata corrisponde a un rudimento d'organo nella fase iniziale dello sviluppo embrionale, e ritmo e rima, assonanza e gioco di parole sono «echi vestigiali» delle «pulsazioni primitive della materia viva».

Non sono metafore queste: «hanno radici solide nella terra», ma al mio orecchio suonano stupide, e io credo che siano così stupide come sembrano. Trascurando gli aspetti giusti e sbagliati di costruire gerarchie con elementi non omogenei (anche se, di fatto, non è mia intenzione confondere matrici percettuali con ghiandole surrenali, embrioni, scherzi e rime), le corrispondenze cui Koestler attribuisce tanta importanza sono del genere puramente formale e astratto che può essere espresso senza alcun riguardo al loro contenuto.

* Secondo P.B. Medawar, *Pluto's Republic*, Oxford 1982, pp. 256-257.

GONDWANA

Fino agli ultimi decenni dell'Ottocento la nozione della fissità dei continenti (che i continenti siano stati sempre come sono oggi) godeva della stessa passiva accettazione di cui era oggetto la nozione della fissità delle specie (che le specie fossero rimaste immutabili dal tempo della loro creazione divina). A partire dal penultimo decennio dell'Ottocento, però, principalmente per opera della stimolazione esercitata dal geologo austriaco Eduard Suess, cominciò a essere esplorata una possibilità del tutto diversa: che i continenti potessero muoversi tangenzialmente sulla superficie della Terra l'uno rispetto all'altro. Questo nuovo concetto venne incluso nel modo più pieno in quella che divenne nota come l'ipotesi di Wegener, anche se essa attinse estesamente all'opera dei suoi predecessori, e specialmente di Suess.

Secondo quest'ipotesi, le attuali masse continentali derivano da un immenso continente che faceva centro sul polo sud, la *Pangea*; questo protocontinente si scisse dapprima in una parte settentrionale, la Laurasia, e una parte meridionale, il Gondwana. La Laurasia comprendeva la maggior parte dell'Asia e dell'Europa quali sono oggi, il Nordamerica (inclusa la Groenlandia) e l'Africa Nord-occidentale. Il Gondwana comprendeva le masse continentali che divennero in seguito l'Antartide, l'Australia, il Sudamerica, la maggior parte dell'Africa, e l'India peninsulare. I due enormi protocontinenti erano divisi da un mare immenso esteso in direzione est-ovest, la Tetide, un oceano mondiale che divideva in due il mondo e di cui l'attuale Mediterraneo è un residuo. Nel Mesozoico, che ebbe inizio più di duecento milioni di anni fa, si verificarono altre scissioni e i continenti cominciarono a separarsi sino ad andare a occupare le loro posizioni attuali.

Una valutazione dell'ipotesi della deriva dei continenti di Wegener richiede che si risponda a due interrogativi: la deriva dei continenti ebbe effettivamente luogo? E, in tal caso, come si produsse?

Si prova un certo disagio per la nozione di Wegener che le rocce relativamente leggere della crosta terrestre («SIAL», così chiamate perché i loro componenti elementari principali sono silicio e alluminio) galleggino sulle rocce fuse più dense del mantello («SIMA» nella terminologia di Suess, dal silicio e magnesio come loro componenti elementari principali).

D'altra parte la nozione della deriva dei continenti viene oggi accettata e si accorda perfettamente con i moderni concetti della tettonica a zolle. Le prove a suo favore non consistono solo nella complementarità dei profili delle coste atlantiche dell'Africa e del Sudamerica, componibili assieme come i pezzi di un *puzzle*, già notata da Francesco Bacone. Una conferma molto persuasiva viene dalla prova relativamente nuova del magnetismo delle rocce, e anche le corrispondenze geologiche fra le rocce del Paleozoico sulle due rive dell'Atlantico sono esattamente quali ci attenderemmo nell'ipotesi che la deriva dei continenti avesse separato la costa della Groenlandia da quella dell'Europa Settentrionale. La deriva dei continenti spiega la formazione delle montagne in modo non meno plausibile della congettura di Michail V. Lomonosov che le catene di montagne si siano formate in conseguenza della contrazione della crosta terrestre nel corso del suo raffreddamento; le grandi catene montuose del doppio continente americano – le Montagne Rocciose e le Ande – potrebbero benissimo essersi formate quando il moto di deriva del Nordamerica e del Sudamerica condusse le due masse continentali a urtare contro la zolla del Pacifico.

Ci sono anche prove fornite dalla distribuzione degli animali, e in particolare dalla «linea di Wallace». È questa una linea di demarcazione che passa serpeggiando attraverso le Indie Orientali, dividendo rispettivamente il Borneo e Bali da Celebes e Lombok, e separando al tempo stesso una fauna orientale da una fauna essenzialmente australiana. Fatto ancora più sorprendente, a causa dell'estrema improbabilità di una migrazione di pesci d'acqua dolce da un continente all'altro, i generi esistenti di pesci dipnoi sono confinati ai subcontinenti del Gondwana.

L'ipotesi della deriva dei continenti di Wegener, la nozione della mobilità tangenziale della crosta terrestre, è una fra le innovazioni più audaci e ricche di immaginazione nell'intera storia della scienza. Queste sono qualità che la fanno prendere in seria considerazione da chi comprende che solo grazie a questi voli dell'intelligenza la scienza compie i suoi progressi più rapidi; ma agli occhi di molti mortali dotati di minor coraggio intellettuale queste stesse qualità forniscono uno speciale incentivo allo scetticismo e gettano discredito sull'idea. Questi uomini, abbastanza piccoli da impegnarsi per lo più in attività che sono l'equivalente scientifico di

incidere il Padre Nostro sulla capocchia di uno spillo, si sentono ancor più sminuiti da qualsiasi opera che comporti un'immaginazione brillante. Il loro atteggiamento ci dice di più sulla natura degli scienziati che sulla natura della scienza.

Non dovremmo perciò meravigliarci troppo se la deriva dei continenti fu per molti anni l'oggetto di quella che Lord Blackett definì una «violenta e a volte oltraggiosa controversia».

GRANCHIO REALE

Più di un organismo simile a un granchio viene designato come granchio reale: fra questi il più famoso è l'antico xifosuro o limulo (che ha almeno duecento milioni di anni).

Le persone affette dalla forma misteriosa di nevrosi nota come aracnofobia si terranno senza dubbio alla larga dal granchio reale quando apprenderanno che, lungi dall'essere un crostaceo in piena regola, il limulo appartiene agli aracnidi, un gruppo strettamente imparentato con i ragni. Questa classificazione fu divulgata al mondo per la prima volta da quel professore di zoologia all'University College di Londra che si dice sia stato il modello del Professor Challenger, in *The Lost World* di Sir Arthur Conan Doyle (London 1912).*

Limulus, an Arachnid fu il titolo perentorio di un famoso articolo di Sir Edwin Ray Lankester. John Collier raffigurò una volta in un quadro Lankester mentre teneva una lezione sul limulo, guardandone un esemplare essiccato come se temesse che potesse rispondergli.

Un altro professore di zoologia, appartenente a una scuola non certo famosa per un profondo insegnamento evoluzionistico, tentò di derivare i vertebrati da forme strettamente affini agli xifosuri, un gioco di prestidigitazione molto simile a quello con cui certi musicologi tentano talvolta di dimostrare che un tema musicale può essere derivato da un altro: tutto quel che si richiede, essi spiegano talvolta, è di suonare il tema all'indietro o sottosopra e modificare il tempo dal tempo di valzer in 5:4 e «presto», e il gioco è fatto.

* Trad. it. *Un mondo perduto*, Sonzogno, Milano 1974.

GRUPPO, SELEZIONE DI

Di solito si considera come oggetto della selezione naturale – ossia come l'elemento che gode o no di un vantaggio riproduttivo netto – un singolo organismo, e nella genetica di popolazioni un gene. Non dobbiamo essere però così restrittivi: può essere oggetto della selezione naturale ogni insieme di entità replicanti o replicate fra le quali esistano differenze ereditabili. Una selezione di questo tipo viene designata come selezione di gruppo: ci si appella ripetutamente ad essa per spiegare l'origine evolutiva di proprietà che si riferiscono alle interazioni di organismi, in particolare di quei caratteri che beneficiano il gruppo nella sua totalità.

Un tempo ci fu il pericolo che il concetto di selezione di gruppo reintroducesse nella teoria dell'evoluzione il tipo di superficialità esplicativa che era stato una debolezza del darwinismo anteriore, ma i moderni genetisti di popolazioni sono oggi solidali nel ripudiare la nozione che il «beneficio della specie» sia bastevole per spiegare l'evoluzione di qualsiasi carattere, anche se tale carattere può essere in qualche misura – per quanto piccola – svantaggioso per i singoli membri del gruppo o della specie.

Un esempio concreto contribuirà a chiarire il concetto. Consideriamo due diverse popolazioni di stafilococchi quali si potrebbero trovare in due ospedali vicini. Batteri come questi sono sottoposti a una pressione selettiva costante e massiccia; essi non sono visti di buon occhio dalle autorità degli ospedali, che fanno di tutto per farli sentire indesiderati, e che li aggrediscono di continuo con una varietà di antisettici e di antibiotici. In queste circostanze, possono sopravvivere solo le popolazioni di stafilococchi i cui membri siano abbastanza mutevoli da presentare varianti che conferiscano loro una resistenza all'uno o all'altro antisettico o antibiotico. La minoranza di individui dotati di questi caratteri si espanderà rapidamente, grazie alla pressione delle forze selettive, sino a diventare il tipo prevalente. Così, col senno di poi, possiamo dire che sopravvivono solo quelle popolazioni batteriche il cui sistema genetico, soprattutto grazie alla loro mutabilità, le rende abbastanza versatili da far fronte a nuove pressioni selettive e a nuovi rischi.

Questa finisce quindi con l'essere una selezione di gruppo, anche se ciò che sta alla sua base e la rende possibile è ovviamente la

selezione darwiniana ortodossa che si esercita sui singoli organismi da cui i gruppi sono composti. Ma in un mondo in cui gli elementi attivi fossero per l'appunto siffatti gruppi o popolazioni, l'evoluzione apparirebbe esteriormente un'evoluzione lamarckiana; in altri termini, in questa prospettiva più ampia i gruppi sembrano subire una trasformazione ereditabile in virtù di una specifica risposta adattiva a un mutamento ambientale. Sarebbe tedioso insistere su questo punto nel contesto della selezione di gruppo, dal momento che questa è al suo cuore così chiaramente «darwiniana». Un famoso fisico-chimico, C.N. Hinshelwood, suggerì nondimeno negli anni trenta di questo secolo che, se noi considerassimo una cellula batterica come una popolazione di enzimi o dei loro veicoli di replica, alla base di un adattamento apparentemente lamarckiano di cellule batteriche potrebbe esserci una selezione direttamente darwiniana nella popolazione degli enzimi della cellula. Ma quale sarebbe la forza selettiva? E in virtù di quali proprietà un singolo enzima sarebbe avvantaggiato in un tale processo di selezione? Hinshelwood manifestò una notevole penetrazione e se, a quel tempo, fosse stata corrente l'espressione «selezione di gruppo», egli avrebbe potuto riconoscere in essa una certa affinità con le proprie idee.

HUNTINGTON, COREA DI

Una corea è una malattia motoria che produce movimenti involontari principalmente a carico degli arti e dei muscoli dell'espressione facciale, movimenti associati a volte a instabilità emotiva e deterioramento mentale. La corea di Huntington è una rara forma ereditaria accompagnata da una degenerazione mentale progressiva. Il suo sfondo genetico ha profonde implicazioni tanto per l'eugenetica quanto per la gerontologia, giacché essa è opera di un gene dominante i cui effetti non si manifestano di solito sino al quarto decennio di vita. Di conseguenza può accadere che una futura vittima di questa malattia si sia formata una famiglia di dimensioni medie e abbia propagato il gene nocivo prima del manifestarsi della malattia stessa. In circostanze normali un gene dominante e riproduttivamente letale sarebbe un facile bersaglio per la selezione naturale, ma il carattere tardivo dell'azione di questo gene consente alla corea di Huntington di sottrarsi in gran parte alla forza della selezione. Nella voce **INVECCHIAMENTO** suggeriamo che i geni nocivi che contribuiscono alla sindrome della senescenza si siano affermati nella popolazione proprio in quanto si sottraggono in parte all'effetto della selezione naturale.

Non c'è ragione di pensare che la frequenza di mutazione del gene nocivo sia particolarmente elevata, ed è perciò probabile che la maggior parte delle vittime della corea di Huntington siano nate dall'accoppiamento fra un portatore dominante e un coniuge normale; metà circa dei loro figli diventeranno vittime di questa malattia, e finora non c'è alcuna possibilità di dire quali dei figli dei malati ne saranno affetti a loro volta. Il consiglio più saggio che si possa dare alle persone che, in conseguenza della loro storia fami-

liare, potrebbero essere portatrici di questo gene, è di astenersi dall'aver figli.

Si dice che George Sumner Huntington (1851-1916), il medico di New York che ha dato il suo nome a questa malattia, abbia concepito la decisione di studiarla quando, a Long Island, si trovò di fronte a due donne, madre e figlia, che ne erano affette: entrambe magre come cadaveri, si torcevano, gridavano e facevano smorfie, comportandosi in modo da indurre le persone religiose che abbondavano allora negli Stati dell'Est a ritenerle possedute dal demonio. Questa era una sciagura ancora più grave, per la quale l'unico rimedio noto in epoca anteriore era stato il rogo.

IMMUNITÀ

L'immunità è uno stato di accresciuta resistenza o di reattività accelerata nei confronti di microrganismi, trapianti o qualsiasi altra sostanza estranea sia riuscita ad avere accesso al corpo. Essere immuni, che è una risposta adattiva, è diverso dal *non essere soggetti* (nel senso che i cani, per esempio, non sono soggetti al morbillo né gli esseri umani al cimurro canino). Alcuni animali possono non essere vulnerabili a microrganismi grazie al fatto di non fornir loro un mezzo di coltura idoneo. Così i topi neonati non sono vulnerabili all'organismo della malaria dei roditori *Plasmodium berghei* non fornendo abbastanza acido para-amminobenzoico per consentirne l'accrescimento.

Questa voce intende richiamare alla memoria le nozioni principali relative alla classificazione convenzionale dell'immunità. Si dice che un'immunità è stata *acquisita attivamente* quando è stata suscitata nell'animale dall'esposizione a uno stimolo capace di provocare immunità. È in questo modo che la maggior parte delle persone acquista l'immunità al morbillo e ad altre malattie infettive, e lo stesso tipo di immunità viene generato da un vaccino. Un'immunità viene invece *acquisita passivamente* quando ha origine di seconda mano: un neonato è immunizzato passivamente dall'esposizione a un anticorpo materno trasferitogli attraverso la placenta o il sacco vitellino o col primo latte, il *colostro*, che il bambino riceve dal seno materno. Alternativamente, un'immunità vicaria viene conferita attraverso l'iniezione in un paziente del siero del sangue di un soggetto immune.

Nel linguaggio professionale l'immunità si suddivide ulteriormente in immunità umorale e immunità cellulomediata (ICM). L'immunità umorale è quella mediata dall'azione di un anticorpo

solubile. Le cellule responsabili dell'ICM sono leucociti, e specialmente linfociti del sangue. Una distinzione operativa consiste nel fatto che l'immunità umorale può essere trasferita passivamente col siero del sangue, mentre l'immunità cellulomediata non può essere trasmessa col siero ma richiede un trasferimento di cellule. Questo non è possibile in condizioni normali nella vita reale; per evitare che le cellule trasferite vengano rigettate come trapianti estranei, donatore e ricevente devono essere affini fra loro così strettamente come due gemelli identici. Si potrebbe ovviamente aggirare la barriera della reazione all'allotraspianto qualora l'ICM potesse essere trasferita regolarmente per mezzo di un estratto di leucociti privo di cellule, procedimento che è stato tentato con qualche successo in esseri umani usando l'estratto di leucociti chiamato «fattore di trasferimento». Non si sa ancora quale sia il meccanismo di questo procedimento.

Si usa l'espressione «immunotolleranza», che è particolarmente infelice (per l'immunologia), per denotare uno stato immunologicamente specifico di non reattività verso una sostanza che normalmente sarebbe antigenica. Questa condizione si presenta normalmente nei gemelli dizigotici e in quegli animali – di solito bovini e a volte anche esseri umani – in cui il possesso di una placenta comune rende possibile ai gemelli una reciproca mescolanza del sangue prima della nascita. Dopo la nascita si trova che tali gemelli sono chimere in grado di accettare trapianti di pelle e simili l'uno dall'altro, cosa che normalmente non avviene fra fratelli e sorelle. Il meccanismo di tolleranza non è ancora compreso appieno. Di norma gli animali sono tolleranti verso i loro propri componenti corporei, e l'incapacità di istituire o conservare questa tolleranza è causa della malattia autoimmune.

Il sistema immunitario, come abbiamo accennato, è attivato dall'ingresso nel corpo di sostanze estranee. A volte accade addirittura che si comportino come sostanze estranee i componenti nativi del corpo. Questi possono diventare antigenici in vari modi: può accadere che qualche sostanza esogena si leghi ai componenti della cellula, rendendoli in tal modo estranei (cosa che accade per esempio quando si attaccano alla pelle sostanze chimiche industriali, come il clorodinitrobenzene o il cloruro di picrile, dando origine a dermatiti allergiche); una seconda possibilità è che un'in-

fezione virale possa alterare costituzionalmente una cellula in modo tale da farle acquistare proprietà antigeniche distinte da quelle possedute dal virus stesso, e che vanno ad aggiungersi a quelle del virus; un'altra possibilità ancora è che in un clone di linfociti possa verificarsi una mutazione, conferendo loro una nuova reattività: una reattività che essi non avrebbero altrimenti posseduto e che, essendo di origine casuale, potrebbe conferire per un caso sfortunato una reattività contro un componente nativo del corpo.

La malattia o reattività autoimmunitaria può verificarsi anche in un quarto modo del tutto distinto. Di norma l'autoimmunità è rara perché, a quanto si ritiene, il corpo acquisisce un'immunotolleranza ai propri componenti o ai propri secreti. Questa tolleranza può essere acquisita solo quando il sistema di reazione immunitaria sia stato esposto ai componenti del corpo nel corso dello sviluppo, così che il corpo abbia avuto un'opportunità di acquisire una conoscenza immunologica di se stesso. Alcuni componenti del corpo possono essere però così segregati, o formarsi così tardi nel corso dello sviluppo, che a questo processo di acquisizione della tolleranza può non offrirsi alcuna opportunità di avviarsi. Si possono citare come esempi gli spermatozoi e alcuni componenti del cristallino dell'occhio, che non sono vascularizzati. È ben noto che una reazione autoimmune può essere provocata artificialmente mediante iniezione di spermatozoi o di proteine del cristallino.

Può accadere inoltre che una ferita liberi nel flusso sanguigno quella che sarebbe stata altrimenti una sostanza segregata. La tiroidite di Hashimoto è una malattia autoimmune che pare si verifichi in conseguenza di una lesione alla ghiandola tiroide, e questo processo (che, come spieghiamo nella discussione della retroazione positiva, si esacerba ancor più nel caso degli anticorpi antitiroidei) causa ulteriore danno alla tiroide e aggrava ancor più le reazioni autoimmunitarie. Di fatto, in molte malattie associate a lesioni a organi corporei potrebbe esser presente un elemento autoimmunitario. Fra le malattie per le quali si sospetta o si conosce un'origine autoimmunitaria sono la miastenia grave, una paralisi simile a quella provocata dal curaro; la sclerosi multipla, una paralisi progressiva di origine sconosciuta; e certi altri disturbi neurologici debilitanti, come la panencefalomielite sclerosante subacuta. Anche la colite ulcerosa, l'oftalmia simpatica e l'artrite reumatoide sono classificate fra le malattie autoimmunitarie.

A causa del loro carattere autoesacerbantesi, le malattie autoimmunitarie sono particolarmente difficili da trattare. La terapia si fonda sull'uso di farmaci immunosoppressivi o di procedimenti intesi a tentare di interrompere un circolo vizioso (per esempio, il lavaggio di globuli rossi dal plasma in cui sono sospesi e la loro reiniezione in una sospensione formata da un sostituto bianco del plasma).

La speciale vulnerabilità del sistema nervoso alla malattia autoimmunitaria è dovuta quasi certamente alla normale segregazione dei suoi componenti dai centri di reazione immunologica.

IMMUNOLOGICA, SORVEGLIANZA

Nozione implicante un presunto finalismo della reazione ai trapianti, la sorveglianza immunologica tenta di fornire una spiegazione razionale del processo immunologico che normalmente proibisce il trapianto di organi e di tessuti da un individuo a un altro. Il ragionamento addotto è che il rigetto degli allotrapianti è solo una conseguenza secondaria indesiderata dell'esistenza di un sistema di controllo esteso su tutto il corpo, il cui fine primario è di identificare e provocare il rigetto di varianti maligne di cellule normali dei tessuti, ossia di incipienti tumori maligni.

Quest'ipotesi attraente, plausibile e accettata da molti fu proposta per la prima volta da Lewis Thomas e sviluppata da Macfarlane Burnet; la volontà di credere in essa è stata però sempre più forte delle prove a suo sostegno. La sua accettazione è ovviamente connessa nel modo più stretto alla teoria immunologica della difesa naturale contro il cancro. I patologi hanno una forte tendenza a credere che i cancri incipienti siano molto più numerosi di quelli che si sviluppano infine sino a diventare una minaccia clinica: i tumori che non progrediscono devono essere stati soppressi da un qualche normale meccanismo di sorveglianza contro il cancro.

L'ipotesi è certamente sbagliata nella forma piuttosto ingenua in cui molti di noi la accettarono dapprima: una forma fondata sulla supposizione che i tumori incipienti vengano eliminati da un processo immunologico affine a quello che provoca il rigetto degli allotrapianti. Ciò può significare solo che l'agente principale della sorveglianza è una cellula diversa dai linfociti periferici del sangue: una possibilità alternativa è la complicità delle cosiddette cel-

lule «killer» naturali. Quest'ipotesi è legata a filo doppio all'interpretazione immunologica della resistenza ai tumori: se tale ipotesi è sbagliata, dev'essere sicuramente erronea anche l'idea della sorveglianza immunologica.

Giusta o sbagliata che sia, quest'idea ha soddisfatto la funzione principale di una teoria scientifica: essa ha condotto a osservazioni ed esperimenti che altrimenti non sarebbero stati eseguiti, in questo caso ampliando sostanzialmente la nostra comprensione complessiva del cancro.

INDIVIDUALITÀ

Pseudoproblema inventato da filosofi della natura per dare alla biologia un'aria di profondità, il «problema» dell'individualità sorse dalle circostanze che esponiamo qui di seguito. Vari gruppi di organismi i cui membri rappresentativi sono solitari e sessili, e hanno quindi capacità considerevoli di rigenerazione e di riproduzione asessuale, esistono sia in forma coloniale sia in forma solitaria. Fra gli esempi di questi organismi si possono citare coralli e salpe e organismi pelagici come la *Physalia*, la caravella portoghese, e affini. Queste colonie sono, per così dire, dei polimeri biologici, la cui unità strutturale o monomero corrisponde per struttura alla forma sessile solitaria tipica del gruppo. Nei coralli questa forma solitaria è un singolo idroide o polipo, e nelle salpe è un singolo tunicato sessile. Il cosiddetto problema dell'individualità è se queste colonie (che sono strutture altamente integrate, con una buona quantità di divisione del lavoro fra le singole parti individuali) debbano essere considerate colonie o organismi individuali.

Quando noi autori eravamo studenti, il problema dell'individualità era uno degli argomenti su cui ci veniva chiesto di scrivere saggi critici e analitici. A quel tempo non eravamo abbastanza maturi, né conoscevamo abbastanza la filosofia, per poter denunciare il problema dell'individualità come una frode: un non-problema di scarsissimo interesse, dalla risposta al quale non dipendeva nulla di importante. Un organismo come l'urocordato *Pyrosoma* è infatti al tempo stesso un individuo e una colonia composta da individui: non esiste una regola per cui un cosiddetto organismo individuale debba essere formato solo da singole cellule. Sotto molti aspetti una colonia di termiti è un singolo organi-

smo – una sorta di polimero sociale –, le cui parti componenti corrispondono morfologicamente alle forme solitarie individuali.

I filosofi della natura avevano un'infelice propensione a inventarsi problemi. Un altro pseudoproblema era se le fibre dei tessuti connettivi siano vive, nel senso in cui sono vive le cellule, o se invece si debbano considerare inanimate. La produzione di tutti questi problemi è qualcosa di superfluo. La biologia è già abbastanza difficile di per sé. Un problema autentico che ha a che fare con l'individualità è discusso nella voce TRAPIANTO.

INTERFERON

È ben noto che l'infezione di una cellula per opera di un virus la rende relativamente refrattaria all'infezione da parte di un secondo virus. Nel 1957 Alick Isaacs e Jean Lindenmann dimostrarono che l'agente chimico responsabile di questo fenomeno di interferenza virale è il cosiddetto «interferon» o «interferone» (più propriamente, si dovrebbe parlare al plurale). Benché gli interferon non siano una singola sostanza omogenea, bensì una classe di sostanze, hanno una varietà di funzioni naturali e di usi clinici in infezioni virali locali o sistemiche, e per ragioni ancora ignote sono utili nel trattamento di certe forme di cancro, anche quando il cancro non è o non risulta essere di origine virale.

Non conosciamo ancora appieno le capacità degli interferon, perché essi agiscono in modo diverso nelle varie specie e lavorano meglio in membri della specie in cui si sono formati. Per questa ragione c'è una scarsità cronica di interferon. Solo quando ne diventeranno disponibili quantità sufficienti – quantità dell'ordine di kilogrammi – sarà possibile investigarne le potenzialità su una scala adeguata.

Per fortuna, però, gli interferon possono essere prodotti anche da agenti diversi dai virus: per esempio a opera di una varietà di induttori, fra cui un certo numero dei polinucleotidi sintetici a doppio filamento. La produzione di interferon è stata tentata nei modi seguenti. Innanzitutto un concentrato di leucociti umani, oppure di cellule umane, a volte cellule cancerose, in coltura possono essere trattati con virus o con induttori di interferon. Le quantità di interferon così ottenute sono sufficienti però solo per la sperimentazione di laboratorio su piccola scala. Un secondo

procedimento consiste nell'introdurre geni di interferon in microrganismi per mezzo delle tecniche della bioingegneria, e nel coltivare poi i microrganismi su grande scala. Il terzo metodo, che risplende dinanzi a noi come il Santo Graal (e come il Santo Graal sembra talvolta allontanarsi man mano che ci avviciniamo ad esso), è la sintesi organica, un compito in effetti di grandissima difficoltà: benché le molecole naturali di interferon siano unite a carboidrati, si ritiene che la parte attiva della molecola sia una proteina con un peso molecolare di circa 4000.

Questi problemi di produzione non sono però insolubili e saranno risolti; essi sono una condizione necessaria per futuri progressi. Quando potremo disporre di quantità di interferon sufficienti per sottoporlo a tutti i controlli desiderati dagli scienziati di laboratorio e dai clinici, avremo sicuramente delle sorprese molto piacevoli. A nostro giudizio l'interferon potrebbe diventare una delle scoperte biomediche veramente più significative del XX secolo.

INVECCHIAMENTO

Anche se «invecchiare» significa semplicemente, alla lettera, diventare più vecchi, raramente si usa questa parola senza le connotazioni designate spesso, nel linguaggio scientifico, col termine *senescenza*: il progressivo deterioramento delle facoltà e prestazioni corporee che si accompagna all'invecchiamento. Sono stati compiuti di tanto in tanto dei tentativi di interpretare la senescenza come un processo patologico; essa ha tuttavia caratteri e modo di inizio tali, nell'uomo e negli animali domestici, da lasciare pochi dubbi sul fatto che si tratta in realtà di un processo naturale e omogeneo con lo sviluppo, di cui è l'episodio conclusivo.

Quand'è che comincia la senescenza? L'esperienza comune ci indurrebbe a rispondere: «Dopo il periodo della crescita e della maturità»; invece l'anatomista americano Charles Minot, in un'interessante serie di articoli editi nel «Popular Science Monthly» (e ripubblicati in volume col titolo *The Problem of Age, Growth and Death*, London 1908), diede una risposta del tutto diversa: l'invecchiamento comincia alla nascita. Se infatti consideriamo come la misura migliore della «vitalità» il tasso specifico di accrescimento – che misura la capacità dei tessuti viventi di riprodursi alla velocità con cui si sono formati – si può dire con sicurez-

za che la senescenza comincia alla nascita poiché il tasso specifico di accrescimento va diminuendo dalla nascita in poi.

Questa nozione ci ha indotti a chiamare legge di Minot la seconda delle due leggi dell'accrescimento che proponiamo nella voce ACCRESCIMENTO BIOLOGICO, LEGGI DELL'; tale legge dice che l'*accelerazione specifica dell'accrescimento è sempre negativa*. Nel dire che l'invecchiamento comincia alla nascita c'è nondimeno una certa affettazione; facendo minor violenza al giudizio convenzionale si potrebbe dire che la decadenza organica comincia per età subito dopo la pubertà, il breve periodo della vita in cui il quoziente specifico di mortalità per età è minimo e la probabilità di vivere ancora per un mese, o un giorno, o un anno, o un minuto, è più alta di quanto non sia prima o dopo questo periodo.

Questa considerazione ci offre lo spunto per introdurre la misurazione attuariale della senescenza, il tipo di misurazione che è adottato quasi universalmente dagli studiosi dell'invecchiamento. Secondo questo tipo di misurazione la senescenza viene concepita come quel mutamento nelle strutture, facoltà o energie corporee che accresce la probabilità di morte per cause accidentali a incidenza casuale, giacché dopo la pubertà diventiamo sempre più vulnerabili. Se si morisse solo per cause accidentali a incidenza casuale e l'invecchiamento non incidesse sulla nostra vulnerabilità, il quoziente specifico di mortalità per età sarebbe costante; invece esso aumenta dalla pubertà sino alla fine della vita.

Benché questo criterio di misurazione sia utile e ragionevole, non è esente da inconvenienti: sarebbe per esempio una pedanteria seguirlo al punto da non descrivere la menopausa come un episodio nel processo della senescenza; eppure la menopausa non aumenta la vulnerabilità di una donna ai rischi di morte e anzi un ottimista potrebbe addirittura considerarla un segno esterno del superamento di un certo tipo di rischi, quelli connessi alla gravidanza e al parto. Analogamente i capelli grigi, universalmente considerati una manifestazione di invecchiamento, non si accompagnano a un aumento della vulnerabilità. Essi potrebbero però essere considerati non tanto un segno del processo d'invecchiamento quanto una manifestazione visibile del contributo dato al decadimento organico dall'accumulo di incidenti e traumi minimi, come gli effetti di radiazioni o lesioni fisiche, con distruzione dei melanociti che danno ai capelli il loro colore.

Non è però sempre facile distinguere fra le manifestazioni della senescenza che vengono talvolta descritte come «programmate» (vale a dire connaturate al nostro ciclo di sviluppo) e quelle che costituiscono la somma di tanti minuscoli incidenti o disfunzioni che, singolarmente presi, hanno scarsissima rilevanza. Secondo una teoria dell'invecchiamento (quella particolarmente associata al nome di Leslie Orgel), anzi, una tale distinzione non avrebbe alcuna validità. Infatti la senescenza non sarebbe di per sé altro che la conseguenza di un accumulo di errori di trascrizione o di traduzione del messaggio genetico che codifica la sintesi degli enzimi nel corso dei processi di sintesi e, in generale, di tutti i processi vitali.

C'è tuttavia un senso in cui è ragionevole descrivere la senescenza un processo patologico: non esiste alcuna ragione nota della sua *necessità*. I biologi oggi respingono (considerandola una forma di panglossismo) la nozione di August Weismann che la senescenza si verifica a beneficio della specie per eliminare gli individui ormai logorati, che secondo Weismann ingomberebbero l'ambiente, sottraendo a numerosi giovani cibo e *Lebensraum* [spazio vitale]. Rimane comunque l'interrogativo: quale tipo di fenomeno renderebbe la senescenza inevitabile? Una possibilità sarebbe una durata di vita determinata delle linee cellulari, ossia una limitazione del numero di divisioni cellulari successive attraverso cui potrebbe passare un clone di cellule. Weismann, stranamente, credeva nell'esistenza di un tale limite. Pur non pretendendo di saperne la ragione, supponeva – forse in conseguenza di una sua carenza congenita nei giudizi di carattere quantitativo – che una cellula potesse non andare oltre le mille o diecimila divisioni successive. Benché Weismann non avesse del tutto torto in linea di principio, quantitativamente era molto lontano dal vero. Sebbene fino a non molto tempo fa noi tutti pensassimo che le cellule potessero dividersi indefinitamente in una coltura di tessuti, oggi sappiamo che le cellule normali hanno una durata di vita finita e non possono mai continuare a dividersi all'infinito.

La vera ragione per cui si verifica il processo della senescenza – un processo che rende l'individuo sempre meno adattato – è che da un punto di vista evolutivo non ha praticamente importanza se esso si verifichi o no. Alla voce sulla COREA DI HUNTINGTON (malattia ereditaria controllata da un gene dominante che si manifesta relativamente tardi) mettiamo in evidenza che la maggior parte

delle sue future vittime potrebbe avere avuto il tempo di formarsi una famiglia di medie dimensioni prima del manifestarsi della malattia. Probabilmente lo stesso vale per tutte le manifestazioni di senescenza abbastanza vistose o debilitanti da essere attribuite all'invecchiamento: esse si verificano quando si è ormai oltre l'età della riproduzione, dopo che gli individui hanno dato il loro contributo, secondo le loro possibilità, alla formazione delle generazioni successive. La forza della selezione naturale ne risulta dunque molto attenuata; la senescenza, considerata un carattere non-adattivo, non può dunque essere combattuta ed eliminata dal genoma di qualsiasi specie per opera delle comuni forze selettive.

Queste considerazioni hanno condotto all'enunciazione della teoria dell'invecchiamento associata specialmente ai nomi di P.B. Medawar e G.C. Williams, secondo la quale l'invecchiamento sarebbe la conseguenza dell'accumulo nel genoma di geni dannosi, i cui effetti negativi si manifestano in un periodo avanzato della vita, quando ormai sono fuori della portata della selezione naturale. Se pensiamo alla corea di Huntington e a varie altre malattie che si manifestano tardi (come avviene ad esempio con la poliposi ereditaria del crasso, che spesso si trasforma in cancro) è innegabile che la teoria ha qualche fondamento. Un corollario di questa teoria – che in effetti fu una delle considerazioni che condussero a svilupparla – è che la senescenza è essenzialmente un prodotto della domesticazione. Ciò non significa ovviamente che la domesticazione sia la causa della senescenza, ma solo che essa è la situazione innaturale che permette alla senescenza di manifestarsi sottraendo l'individuo agli effetti di molte circostanze che nella vita allo stato di natura avrebbero facilmente potuto essere letali (si pensi solo alle privazioni, alla fame, al logorio organico, alle infezioni). Contrariamente a quanto volgarmente si crede, in natura gli animali vecchi sono una rarità: normalmente non si muore di vecchiaia, ma di morte violenta.

Comunque non possiamo considerare la senescenza un epifenomeno della vita: essa è qualcosa con cui dobbiamo convivere. D'altra parte, la senescenza è un mutamento fisico, e quindi non ci sono ragioni di principio per cui non si possano trovare i modi per contrastarla. L'etica e i costumi del puritanesimo escono corroborati dalle esperienze su animali di laboratorio, da cui risulta che la temperanza (soprattutto nell'assunzione di calorie) è fattore

importantissimo – e forse il più importante – per prolungare la vita. Vari ricercatori hanno rilevato che la somministrazione di forti dosi di antiossidanti del tipo impiegato dall'industria conserviera determina un significativo aumento della durata della vita. Questo fatto non ha suscitato tanto entusiasmo quanto si potrebbe a tutta prima pensare, a causa del sospetto che gli antiossidanti, essendo in una certa misura tossici, possano operare diminuendo l'appetito, con conseguente minor consumo di calorie in una misura tale da favorire una maggiore longevità. La menzione di alti dosi di antiossidanti fa pensare al consumo orale di forti dosi di acido ascorbico (vitamina C), un metodo che ha anch'esso i suoi sostenitori, i due principali dei quali, due vispi ottuagenari, sono in vita mentre stanno scrivendo queste pagine.

INVERTEBRATI

La parola «invertebrati», che fa pensare a un'unità tassonomica, è in realtà solo una descrizione di una varietà di animali diversi non aventi in comune nient'altro che la proprietà negativa di non possedere una colonna vertebrale. È chiaro che l'assenza di un carattere non può avere alcun peso tassonomico; in caso contrario, infatti, si dovrebbero classificare fra gli invertebrati anche i protozoi, che mancano anch'essi di una colonna vertebrale, e lo stesso vale per le piante. La convenzione limita perciò l'uso del termine ai metazoi, ossia agli animali pluricellulari.

I gruppi che costituiscono gli invertebrati possono essere suddivisi in due linee evolutive principali, e la distinzione si fonda in parte sullo sviluppo embrionale e in parte sui caratteri fondamentali della struttura adulta. Così gli anellidi, gli artropodi e, per ragioni di sviluppo, i molluschi, formano una di tali linee; anellidi e artropodi posseggono un sistema nervoso in posizione ventrale e un cuore dorsale. A questa linea possiamo aggiungere altri gruppi quasi certamente derivati da essa per neotenia, come i nematodi e i rotiferi.

I vertebrati hanno tipicamente un sistema nervoso in posizione dorsale e un cuore ventrale. Vari gruppi di invertebrati sono uniti dal fatto di trovarsi sulla principale linea evolutiva che conduce ai cordati o in prossimità di essa. Questi nostri parenti poveri sono gli echinodermi (ricci di mare, stelle di mare e oloturie) e il gruppo

il cui membro principale è l'anfiosso o lancetta; ci sono inoltre alcuni gruppi minori i cui titoli per essere ammessi nella linea dei cordati sono sotto certi aspetti meno convincenti: i gruppi rappresentati dai sagittoidei (*Chætogmata*), dai foronoidei e dai briozoi (ectoprotti).

IPOTALAMO

Fra il mesencefalo e il prosencefalo si trova il diencefalo, il «cervello intermedio», la parte più ventrale del quale, anatomicamente parlando, è l'ipotalamo: questo è essenzialmente il cervello del sistema nervoso autonomo, con funzioni endocrine oltre che nervose. La parte basale dell'ipotalamo forma un promontorio che instaura una connessione fra gli elementi nervosi nell'ipotalamo e l'elemento dell'ipofisi che secreta ormoni. La funzione endocrina dell'ipotalamo consiste nella produzione di ormoni che attivano la produzione degli ormoni della parte anteriore dell'ipofisi, specialmente di quelli diretti verso altre ghiandole endocrine. L'ipotalamo è inoltre la fonte di ormoni che in passato si riteneva venissero prodotti dalla parte posteriore dell'ipofisi. Fra questi sono gli ormoni che influiscono sulla muscolatura dell'utero e che fanno aumentare la pressione arteriosa: funzioni quasi neurovegetative. Come abbiamo osservato nella voce ENDOCRINE, GHIANDOLE, le funzioni endocrine di un organo sono le funzioni che esso potrebbe conservare se la sua funzione primaria dovesse andare perduta nel corso del mutamento evolutivo. C'è un chiaro rapporto fra la funzione endocrina e la funzione neurologica dell'ipotalamo.

L'ipotalamo è un centro di regolazione termica: il *tuber cinereum* dell'ipotalamo contiene cellule sensibili alla temperatura che controllano continuamente la temperatura corporea.

La localizzazione di funzioni nella corteccia cerebrale poté essere conseguita per mezzo della stimolazione elettrica di vari punti della corteccia nel corso di interventi chirurgici. In maniera simile, la stimolazione elettrica localizzata dell'ipotalamo ha svelato la ricchezza delle funzioni neurovegetative soggette al controllo dell'ipotalamo, e le sensazioni e nozioni che ad esse si accompagnano. Fra tali funzioni sono, per esempio, l'intera gamma di funzioni ingestive, digestive ed escretorie. La stimolazione locale dell'ipotalamo può indurre un organismo ad annusare, leccare,

masticare, ingoiare e infine defecare. La stimolazione di aree distinte dell'ipotalamo produce sensazioni di fame intensa o di sazietà, le prime così imperiose che persino animali ben nutriti possono essere indotti a mangiare voracemente, e le seconde forse utilizzabili in futuro nel quadro di un metodo di dietetica razionalmente efficace, in cui il controllo sarà esercitato non tanto su ciò che si mangia quanto sull'inclinazione a mangiare. È noto che la distruzione dei centri della sazietà conduce a mangiare in quantità patologicamente eccessiva (iperfagia). La stimolazione di altri centri nell'ipotalamo provoca timore, rabbia, aggressività, estremo piacere e sonno. Certe lesioni all'ipotalamo possono condurre a sindromi preoccupanti di cui molti studenti di medicina devono aver pensato di essere affetti: una sonnolenza periodica accompagnata da una fame patologica.

Lo studio dell'ipotalamo fornisce abbondanti informazioni utili per comprendere gli eventi cerebrali fisici che si accompagnano ad atti o a stati mentali. Benché queste possano aiutare a spiegare i *mutamenti* negli stati mentali, non possono spiegare gli stati stessi: un timore estremo non è spiegabile da un movimento di cariche elettriche in una parte dell'ipotalamo più di quanto la sensazione del rosso possa essere spiegata da un treno d'impulsi nel nervo ottico che venga inoltrato, passando per varie sottostazioni, ai lobi temporali della corteccia cerebrale.

IPOTESI E TEORIA

Nel vocabolario filosofico queste parole hanno significati precisi e usi corretti. Noi tenteremo di esporli qui per mettere in guardia i biologi contro fraintendimenti così sgradevoli come quelli riferiti nella voce EVOLUZIONE, PROVE DELL', e specialmente contro l'idea che la parola «ipotesi» abbia una connotazione peggiorativa.

Le dichiarazioni o proposizioni da cui si traggono inferenze logiche vengono variamente descritte come premesse, ipotesi, assiomi o postulati. Esse hanno tutte lo stesso status logico, ma le diverse parole distinguono il modo in cui tali proposizioni ebbero origine e il grado di fiducia che noi abbiamo circa la loro giustezza empirica. È superfluo dire che tali differenze si riflettono negli usi linguistici: noi asseriamo postulati, ci arrischiamo a proporre ipotesi, asseriamo assiomi o diamo per scontata la loro verità.

Le ipotesi svolgono un ruolo speciale nella scienza, essendo la porta d'ingresso del pensiero immaginativo. Un'ipotesi è un preconcetto immaginativo di come *potrebbe* essere la verità. Noi crediamo in certe ipotesi finché non abbiamo ragioni per non credervi più, nel senso che dà alla parola credere Immanuel Kant («una sorta di assenso consapevolmente imperfetto»). Charles Sanders Peirce (1839-1914), il massimo logico americano del suo tempo, si rendeva ben conto che senza ipotesi non potrebbe esserci progresso nella scienza, e Karl Popper affermò la stessa cosa. Noi non possiamo avvicinarci alla verità se non abbiamo una qualche nozione preconcepita di come essa potrebbe essere. L'essenza della filosofia di Popper è che la scienza avanza per mezzo di un continuo «duologo» fra *congettura* e *confutazione*, fra la formulazione di ipotesi e la loro verifica (o falsificazione) per mezzo dell'osservazione e dell'esperimento, in conseguenza di cui noi o corroboriamo l'ipotesi o abbiamo ragione di modificarla. Quando un'ipotesi è corroborata, acquistiamo fiducia in essa e possiamo, per così dire, sottoporla a un esame di livello superiore. In un senso logico formale, a volte è possibile confutare delle ipotesi, ma non esiste alcun procedimento logico per mezzo del quale un'ipotesi possa mai essere dimostrata vera.

Una teoria è l'assieme di un'ipotesi e di ciò che essa comporta logicamente, ossia un'ipotesi più le inferenze deduttive che possiamo trarne. Ne segue, quindi, che una teoria non può essere dimostrata logicamente vera – un punto che era perfettamente chiaro a Popper, e anche a Peirce («Le conclusioni della scienza non pretendono di essere più che probabili», egli scrisse). Le ipotesi hanno origine, ovviamente, dall'immaginazione: non *deduciamo* ipotesi, giacché un'ipotesi è ciò da cui deriviamo deduzioni. Le ipotesi sono congetture, e possono essere ovviamente prudenti o avventate, folli o assennate, accettabili o inaccettabili. Il sistema di ipotesi attualmente accettabili forma quello che è in effetti un sapere costituito di credenze, interpretazioni e costruzioni teoriche accettate, le quali compongono congiuntamente quello che Thomas S. Kuhn ha chiamato il «paradigma» dominante, parola che non avrebbe attecchito così prontamente se non avesse soddisfatto un bisogno.

Quasi tutti gli scienziati credono che esista una distinzione netta fra *fatto* e *teoria*. Il fatto o la proposizione che lo esprime sarebbe semplicemente un'affermazione di ciò che è, purgata da ogni in-

interpretazione e teoria. William Whewell (1794-1866) negò l'esistenza di una distinzione così netta e affermò che interpretazione e teoria sono intessute nella nostra comprensione di fatti che presumiamo semplici a qualsiasi livello. In un passo finemente argomentato che si conclude con le parole: «C'è una maschera di teoria sull'intero volto della natura», Whewell scrisse: «La maggior parte degli uomini sono inconsapevoli della perpetua abitudine a leggere la lingua del mondo esterno e a tradurla nell'atto stesso di leggerla» (*The Philosophy of the Inductive Sciences*, London 1837, vol. I, sez. 4).

La costruzione di una teoria è resa possibile dall'esistenza di un sistema sottostante di convenzioni o di intese che si riferiscono ai significati dei termini usati, al processo di trasformazione delle proposizioni e al loro uso nella deduzione logica. Tutto ciò costituisce la *metateoria*, nella quale si distinguono due elementi principali: la *sintassi logica* ha a che fare con le regole della deduzione, mentre la *semantica* si riferisce ai significati dei termini e alle convenzioni insite nella definizione, ossia nella sostituzione di uno o più termini per mezzo di altri. L'elemento di metateoria che entra nella scienza a tutti i livelli è quello che ha a che fare con la *verità*. La verità è un concetto metateorico perché sono proposizioni o dichiarazioni a essere o no vere, e ogni asserzione che affermi la verità o falsità di una proposizione è metalinguistica: in altri termini, è un'asserzione su un'asserzione. Il significato intuitivo della verità empirica è abbastanza chiaro: la proposizione «l'ornitorinco depone uova» è vera se e solo se l'ornitorinco depone uova. La formalizzazione di questa concezione intuitiva in un modo adeguatamente rigoroso fu il massimo contributo dato da Alfred Tarski alla logica (*Logic, Semantics and Metamathematics*, Oxford 1956, cap. 8).

L'accettazione o il rifiuto di una teoria, e perciò dell'ipotesi di cui essa rappresenta l'elaborazione deduttiva, si riduce molto raramente a una semplice asserzione della sua verità o falsità. In questo volume si fa menzione di un certo numero di audaci ipotesi: l'ipotesi dell'evoluzione, l'ipotesi della deriva dei continenti (vedi GONDWANA) e l'ipotesi che esista un'antica e oscura affinità fra l'acqua di mare e il sangue, tale che sarebbe lecito descrivere il sangue come disceso per evoluzione dall'acqua di mare (vedi SANGUE E SUA CIRCOLAZIONE).

Le prime due ipotesi sono oggi accettate quasi universalmente, mentre la terza è erronea e viene accettata solo da dilettanti o da filosofi della natura con la tendenza ad avvolgere tutto nelle tenebre. L'idea è rifiutata perché si fonda su un'ipotesi ausiliaria chiaramente falsa, ossia che prima che i vertebrati uscissero dal mare il loro sangue o quello dei loro progenitori fosse in un equilibrio ionico e osmotico con l'acqua di mare. La teoria dell'evoluzione e quella della deriva dei continenti sono invece due teorie accettate, soprattutto grazie alla loro grande vastità esplicativa. Entrambe non spiegano solo i fatti per spiegare i quali sono sorte, come la complementarità delle linee di costa atlantiche dell'Africa e del Sudamerica, l'esistenza in passato di rettili piumati come l'*Archæopteryx*, e l'attuale esistenza di mammiferi che depongono uova con guscio. Il minimo che possiamo attenderci da un'ipotesi è che essa spieghi ciò per cui è stata formulata; ma la corrispondenza non ci autorizza a dire che essa abbia un grande ambito esplicativo. Le virtù immense delle teorie dell'evoluzione e della deriva dei continenti sono il numero, la varietà e il carattere inatteso dei fenomeni che spiegano.

Alcune teorie biologiche (stiamo pensando specialmente alla teoria dei foglietti embrionali e alla teoria della ricapitolazione) non sono certamente vere nella forma in cui vengono proposte di solito, ma sono rimaste in repertorio, per così dire, perché in esse c'è un elemento importante di verità; è istruttivo vedere in che modo esse siano pervenute ad assumere una forma dogmatica inaccettabile e chiederci che cosa si dovrebbe fare per riabilitarle. La ricerca scientifica non è tanto un continuo succedersi di affermazioni e confutazioni, quanto piuttosto un provare e riprovare ispirato da una tendenza cosciente all'esplorazione. Una confutazione assoluta di una teoria è perciò piuttosto rara.

IRRITABILITÀ

Termine che figura quasi invariabilmente in elenchi di differenze fra materia vivente e inanimata, «irritabilità» non significa nulla di più di reattività o sensibilità a mutamenti nell'ambiente. La completa assenza di una tale reattività viene interpretata spesso con sicurezza come una prova di mancanza di vita.

La parola «irritabilità» ha, però, un significato più particolare:

il grande fisiologo tedesco Johannes Müller (1801-1858) formulò una legge dell'irritabilità specifica, chiamata a volte anche legge dell'energia nervosa specifica di Müller, che descriveremo nella VOCE SENSO, ORGANI DI.

ISTINTO

L'istinto è un concetto che si presta più facilmente a essere descritto, spiegato ed esemplificato che non a essere definito formalmente. A beneficio di quelle persone insicure che pensano non si possa fare alcun discorso se non dopo averne definiti preliminarmente i termini, tenderemo di dare qui di seguito una definizione di istinto, anche se i biologi si sono occupati per molti anni degli istinti senza mai tentarne una definizione formale. Il termine «istinto» è usato quasi invariabilmente per descrivere non una singola azione, ma un insieme di prestazioni funzionalmente connesse aventi quello che nel linguaggio comune viene descritto come uno scopo (per esempio l'arrampicata, di spettacolare precarietà, di un marsupiale neonato dal ventre materno al marsupio).

Forse la prima proprietà che viene alla mente quando si usa il termine «istintivo» è quella di qualcosa di non appreso, che è l'estrinsecazione di un programma innato o ereditato. Si dovrebbe aggiungere però che alcune azioni descritte come del tutto istintive dipendono in realtà, come il canto degli uccelli, da suggerimenti ambientali. Un altro carattere associato tradizionalmente al comportamento istintivo è l'automatismo, specie quando risulta inappropriato e controadattivo, e quand'è combinato, come spesso accade, a una certa inflessibilità che proibisce di introdurre delle modifiche per adattarlo a speciali circostanze.

Come figura retorica, certe azioni vengono descritte talvolta come istintive quando tutto ciò che si intende significare è il riferimento al valore funzionale di un'azione combinato a una sua esecuzione pronta ed efficace. Così qualche automobilista provetto descrive talvolta la propria guida come molto «istintiva», uso che illustra molto bene la verità del saggio giudizio formulato da Alfred North Whitehead in *Introduction to Mathematics* (London 1911, p. 61):* «Il luogo comune, scritto nel quaderno di ogni sco-

* Trad. it. *Introduzione alla matematica*, Sansoni, Firenze 1961³, p. 50.

laro e ripetuto, nei loro discorsi, da persone eminenti, secondo il quale dovremmo coltivare l'abitudine di pensare a quello che stiamo facendo è profondamente erroneo. Le cose stanno proprio al contrario: la civiltà progredisce a mano a mano che si va estendendo il numero delle attività importanti che riusciamo a compiere senza pensarci». Noi consideriamo questa una riflessione profonda, che la maggior parte delle persone potrebbe confermare sulla base della propria esperienza. Quando si impara un nuovo repertorio di prestazioni neuromuscolari, come guidare un'automobile o sciare, si impara per l'appunto a *non* essere costretti a riflettervi per compierle, ossia a reagire prontamente e in modo appropriato a ogni nuovo stimolo quando si presenta. Il nostro comportamento dev'essere quasi-istintuale, poiché queste sono azioni in cui il razio-cinio non ha alcuna parte, anche se si deve sperare che sia stato esercitato il giudizio per premunirsi contro il rischio di rompersi una gamba, cui ci si espone così spesso quando si scia, o contro gli errori compiuti da altre persone quando si va in macchina.

Le sequenze neuromuscolari di azioni istintive nel comportamento sociale di insetti e nel comportamento di accoppiamento di altri animali sono straordinariamente complesse, e a tutt'oggi non abbiamo alcun sospetto di come siano programmate. Ancor più straordinaria è la situazione nella quale un programma comportamentale sia meramente latente, anche se qualche stimolo appropriato può attivarlo. Questo caso si riscontra, per esempio, fra i polli; è stato infatti dimostrato che un gallo può esibire l'intero repertorio delle cure parentali femminili se gli vengono iniettati ormoni sessuali femminili. Quanto più si medita su questo fatto, tanto più esso sembra diventare inesplicabile. La biologia non ha trionfo maggiore cui aspirare di una soluzione del problema di come un programma di comportamento istintuale sia immagazzinato a livello genetico e attivato a livello epigenetico.

Che cosa si può dire delle piante? Se si descrive come «istintuale» una qualsiasi attività di una pianta (per esempio la sorprendente prestazione di una pianta insettivora come la dionea), si viola l'uso naturale; eppure si userebbe certamente questa parola se le piante avessero nervi e muscoli. A dispetto del fatto che lo «psichismo» di una pianta, per usare le parole di Teilhard de Chardin, è così «diffuso», non c'è alcuna ragione per cui dei biologi dovrebbero considerare il possesso di un sistema neuromuscolare o

di una psiche una condizione necessaria per poter descrivere come istintuale il comportamento di un organismo. Tutto quel che c'è da dire è che le piante hanno effettori loro propri e che a volte compiono certe prestazioni in modi che non è fantasioso – ma potrebbe essere addirittura istruttivo e liberatorio – descrivere come istintuali. Il comportamento delle piante è un argomento che dovrà essere investigato in modo più approfondito di quanto non si sia fatto finora.

LAMARCKISMO

La parola «lamarckismo» non fu inventata da Lamarck, così come la parola «darwinismo» non fu inventata da Darwin bensì da Alfred Russel Wallace. Benché non molti si diano oggi la pena di familiarizzarsi con le opinioni evoluzionistiche di Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829), nessuno ha molti dubbi circa il significato del vocabolo lamarckismo. Esso compendia la convinzione che mutamenti acquisiti nel corso della vita di un individuo in conseguenza di adattamenti funzionali attivi, quasi intenzionali, possano in qualche modo imprimersi nel genoma, entrando così a far parte dell'eredità di generazioni successive. Ben pochi biologi di professione credono che accada - o possa accadere - qualcosa del genere, ma la nozione persiste per una varietà di ragioni non scientifiche.

1. Essa è stata oggetto di una propaganda persuasiva da parte di figure di letterati, da Samuel Butler a George Bernard Shaw ad Arthur Koestler. Butler pensava che gli istinti fossero abitudini codificate geneticamente. Shaw fece qualche commento tipicamente tedioso sull'argomento, ispirato senza dubbio dal pensiero di assicurarsi dei meriti presso l'*establishment*. Koestler non era un lamarckiano, ma nel famoso libro sulla frode di Kammerer (*The Midwife Toad*, London 1971)* creò un'atmosfera favorevole all'accettazione del lamarckismo, rappresentando uno fra i suoi principali proponenti come una vittima dell'ortodossia costituita ed esprimendo critiche al neodarwinismo (di cui non diede un'esposizione scientificamente molto esatta né corretta).

* Trad. it. *Il caso del rospo ostetrico*, Jaca Book, Milano 1979.

2. I marxisti disdegnano la nozione darwiniana secondo la quale esistono differenze innate nelle capacità umane, preferendo credere che gli uomini nascano uguali e diventino poi ciò che l'educazione e l'ambiente fanno di loro, nozione che Napoleone Bonaparte riteneva notoriamente detestabile. Non sorprende che il pensiero lamarckiano abbia esercitato un'influenza sui pensatori rivoluzionari francesi, né che esso sia stato la dottrina ufficiale in Russia fra il 1937 e il 1964 circa, quando l'agronomia sovietica fu dominata dalle opinioni di Trofim Denisovič Lysenko e i genetisti mendeliani furono in disgrazia a causa della loro fede nella disuguaglianza genetica dell'uomo.

3. Sembra una forma di naturale giustizia che gli sforzi di un animale e l'esito dei suoi sforzi diventino parte della sua eredità genetica.

4. Molti naturalisti hanno perso la fede nella capacità esplicativa universale del neodarwinismo, che di quando in quando è apparsa molto superficiale.

5. La forma di evoluzione o eredità sociale che è mediata dalla cultura (di cui ci occupiamo nella voce **ESOGENETICA, EREDITÀ**) è chiaramente in stile lamarckiano.

6. Fino a pochissimi anni fa era convinzione diffusa che i mutamenti evolutivi in batteri e altri microrganismi, come quelli associati all'«addestramento» (termine quant'altro mai rivelatore!) dei microrganismi per utilizzare nuovi cibi o resistere all'azione di nuovi antibiotici, fossero di stile lamarckiano. Questo grave equivoco, quale risultò essere in seguito, diede ai lamarckiani uno speciale incentivo a tentare di trovare un processo simile all'opera in organismi superiori.

Per tutte queste ragioni ricorre spesso l'affermazione che l'eredità lamarckiana sia stata dimostrata, affermazione che, se a tutta prima provoca un po' di agitazione, cade poi nell'indifferenza. Citeremo alcuni esempi, chiedendo al lettore di ricordare, valutandoli, che non si può accettare come valida un'interpretazione lamarckiana a meno che non sia stata esclusa espressamente la possibilità della selezione naturale.

Melanismo industriale in falene. Qualcuno ha scritto che «la diffusione in distretti industriali di forme melaniche [ossia di varianti scure] di lepidotteri è... fra i mutamenti evolutivi più considerevoli a cui si sia mai assistito». Secondo Heslop Harrison il me-

lanismo sarebbe un mutamento adattivo indotto ed ereditabile determinato dalla contaminazione di piante alimentari in aree industriali per mezzo di fumi industriali che si diceva fossero capaci di indurre la formazione di mutanti melanici. Sussistono però dei dubbi sulla capacità di sali di manganese o di piombo di indurre veramente una tale formazione di mutanti. Poiché invece è certo che mutanti melanici ricorrono regolarmente in molte specie di lepidotteri in aree non industriali, oggi si considera più probabile una spiegazione nei termini della selezione naturale: i mutanti melanici godono di un chiaro vantaggio selettivo sul fogliame annerito della campagna delle aree industriali.

Trasmissione ereditaria di modelli di comportamento appresi in ratti. L'apprendimento può essere considerato una reazione adattiva intenzionale e può vantare quindi dei titoli a essere considerato fra i candidati migliori a una forma di trasmissione lamarckiana, sempre che questa esista. In articoli pubblicati nell'arco di vari anni nel «British Journal of Psychology», William McDougall descrisse esperimenti sulla trasmissione ereditaria in ratti della capacità di imparare a usare una di due uscite alternative da un sifone: un'uscita era illuminata da una luce intensa ed era preparata in modo tale che ogni ratto che se ne serviva riceveva una forte scarica elettrica, mentre l'altra uscita era illuminata solo da una luce debole ma non era elettrificata. Il livello di apprendimento fu quantificato attraverso il numero di test cui un individuo doveva essere sottoposto prima di fare dodici scelte consecutive dell'uscita giusta. I ratti procreati dalla popolazione addestrata, nella misura del possibile senza esercitare alcuna selezione, migliorarono nelle loro prestazioni da 120 test a solo 36 nella trentaquattresima generazione. Sembrava a tutta prima di trovarsi di fronte a un caso di trasmissione ereditaria lamarckiana. Le cose non erano però così semplici: migliorarono le loro prestazioni anche ratti appartenenti a due gruppi di controllo diversi, formati o da ratti non addestrati o da ratti «selezionati negativamente», ossia procreati dai soggetti più ottusi di ciascuna generazione. In verità i soggetti più ottusi progredirono più lentamente dei soggetti addestrati.

Gli errori a cui esperimenti di questo genere sono soggetti erano tutt'altro che chiari a psicologi sperimentali. Pur avendo un aspetto omogeneo (vedi ALBINISMO), i ratti Wistar sono chiaramente eterogenei, ossia geneticamente non uniformi. Le differenze di in-

telligenza nei ratti dimostrate dalle prestazioni nei labirinti sono altamente sensibili alla selezione, e può ben darsi che una selezione venisse praticata di fatto, per quanto inavvertitamente (perfino facendo ricorso a metodi dall'aspetto così innocente come la scelta dei genitori della successiva generazione fra i ratti più grossi, fra quelli dall'aspetto più sano, fra le figliate più attive o fra i primi a svilupparsi). Il miglioramento nelle prestazioni anche nel gruppo di ratti selezionato negativamente indurrebbe a pensare che fosse in corso una selezione involontaria: forse una scelta degli eterozigoti, con conseguente lussureggiamento degli ibridi, in un ceppo parzialmente omozigotico.

In ogni caso ripetizioni accurate ed estese della ricerca di McDougall non confermarono affatto i suoi risultati. La sua ricerca divenne perciò un altro oggetto esposto nel museo vasto e male illuminato dei fenomeni non riproducibili.

Eredità di difetti agli occhi indotti dall'azione di antisieri anti-cristallino. Fra il 1918 e il 1934 M.F. Guyer e F.A. Smith descrisero esperimenti con cui sostenevano di aver dimostrato che l'iniezione in coniglie gravide di un antisiero prodotto iniettando in anatre proteine di cristallino di coniglio causava difetti nello sviluppo dell'occhio che si trasmettevano in linea sia maschile sia femminile alla maniera dei caratteri recessivi mendeliani. Questi esperimenti sono plausibili sotto certi aspetti ed estremamente inattendibili sotto altri. Come bersaglio embrionale il cristallino era una buona scelta perché anticorpi diretti contro qualsiasi altro organo sarebbero stati quasi certamente eliminati dalla circolazione per opera dei tessuti della madre gravida, ma non così gli anticorpi contro il cristallino. (Il cristallino dell'adulto non è una struttura vascolarizzata, cosicché un anticorpo non lo raggiungerebbe.) D'altra parte, non è molto probabile che un anticorpo prodotto in un'altra specie (in questo caso in anatre), e trasferito passivamente, possa penetrare nel sacco vitellino del feto, la via principale attraverso la quale gli anticorpi entrano nell'embrione di coniglio; inoltre, difetti congeniti dell'occhio non sono rari in animali domestici, e se un difetto del genere si manifestasse in un coniglio cui fossero state fatte iniezioni di antisiero, ci sarebbero probabilità molto maggiori di una sua derivazione dai genitori secondo le regole mendeliane.

Per queste varie ragioni non sorprende che i risultati delle ricer-

che di Guyer e Smith non siano stati confermati da ripetizioni indipendenti.

Un'obiezione comune al lamarckismo è che non esiste alcun metodo concepibile per mezzo del quale un adattamento acquisito nel corso della vita di un individuo possa imprimersi nel genoma. Benché oggi sia noto che in certe circostanze è possibile una sintesi di DNA a partire da uno stampo di RNA (per mezzo degli enzimi noti come transcriptasi inverse), non c'è il minimo indizio della possibilità di una sintesi dell'RNA a partire da proteine. È ovviamente del tutto irrilevante che una mutazione possa essere indotta da un agente esterno, in particolare per mezzo di radiazioni ionizzanti come i raggi X, perché non c'è alcun rapporto funzionale o adattivo fra il carattere di un mutante e la natura del mutageno che lo ha causato: le mutazioni non si verificano in risposta ai bisogni di un organismo, né li gratificano se non per caso.

Presentemente non esiste alcuna alternativa valida alla conclusione che il lamarckismo non è una dottrina intellettualmente vitale e che, quali che siano le insufficienze del darwinismo, dovremo probabilmente convivere con esso per molti anni ancora.

L'eredità lamarckiana appare, a coloro che credono in essa, così chiaramente, necessariamente e intrinsecamente vera che lo sperimentatore impegnato nella preparazione di esperimenti per dimostrare l'ereditarietà di un carattere acquisito concepisce talvolta un forte risentimento contro la natura quando questa non coopera con i suoi sforzi. Questo senso di animosità contro la natura si è tradotto almeno una volta nella volontà di aiutare la natura a produrre i risultati giusti, e molto spesso ha assunto la forma di caustici attacchi personali a biologi che si rifiutavano di accettare la teoria lamarckiana finché non fossero state prodotte prove soddisfacenti a suo favore («prove soddisfacenti» sono quelle non suscettibili di interpretazioni alternative ortodosse). Rimandiamo il lettore alla voce **LYSENKISMO** per illustrazioni delle conseguenze tragiche del fanatismo che si accompagna così spesso a credenze lamarckiane.

LEMMING

Roditori di taglia simile ai ratti, dalla coda ridotta a un mozzico-

ne, i lemming, che vivono nell'Artide o nelle zone temperate settentrionali, sono degni di nota per le fluttuazioni considerevoli delle loro popolazioni e per aver dato origine a un mito vagamente affine a quello del suicidio dei porci di Gadara [Marco, 5: 1-14]. Secondo questo mito, i lemming controllerebbero il loro numero mediante un suicidio di massa ispirato al bene della collettività, precipitandosi a capofitto in mare da alte scogliere. Per trovare un altro errore così comicamente macroscopico dovremmo tornare ai racconti dei viaggiatori del Seicento, o addirittura ad Aristotele. L'impossibilità di un suicidio programmato geneticamente è chiarita dalla voce **ALTRUISMO**.

LINFATICO, SISTEMA

La parola «linfa», usata in modo piuttosto vago in fisiologia, ha un significato tecnico da cui non ci si dovrebbe discostare: la parola denota il contenuto liquido dei *vasi linfatici*, che drenano i tessuti. La linfa ha origine come un filtrato del sangue e viene ricondotta, attraverso i vasi linfatici, al sistema venoso. Il plasma della linfa ha una composizione molto simile a quella del plasma del sangue, e come questo forma coaguli. In circostanze normali nella linfa non sono presenti globuli rossi del sangue, ma i corpuscoli della linfa sono vari tipi di linfociti (o cellule che danno loro origine, come i linfoblasti).

Il sistema linfatico ha origine alla periferia nella forma di capillari che permeano la maggior parte dei tessuti – ma non il cervello – e confluiscono nei vasi linfatici; questi hanno una parete sottile, si schiacciano facilmente e si distinguono dalle vene (oltre che per il loro contenuto) per il possesso di un numero molto grande di valvole. Queste impediscono alla linfa di fluire in qualsiasi altra direzione che dai tessuti a vasi linfatici di calibro crescente, che infine sboccano nel sistema venoso.

La pressione idrostatica del sangue è troppo piccola per causare il flusso della linfa: la circolazione a senso unico di questa è determinata dallo schiacciamento dei vasi linfatici per opera di contrazioni muscolari o in generale di movimenti del corpo. Il massaggio è un modo efficace per mettere in movimento la linfa, e i massaggiatori esperti operano come se conoscessero istintivamente la disposizione dei vasi linfatici e il modo di sospingere la linfa attra-

verso di essi. Alcuni mammiferi – fra cui le rane – hanno vasi contrattili («cuori linfatici») in qualche punto lungo la circolazione linfatica, ma in generale la linfa si muove passivamente in conseguenza dei movimenti del corpo.

Di solito lungo le vie linfatiche si trovano uno o più linfonodi, i quali filtrano la linfa nel suo flusso verso il sistema venoso. Un linfonodo è molto spesso il primo sito in cui si verifica lo scontro fra un antigene e le cellule che reagiscono ad esso immunologicamente. Quando la materia antigenica è formata da batteri, si ha spesso una spiccata infiammazione dei nodi (chiamati di solito dai profani ghiandole linfatiche): sono questi che il medico palpa quando esamina un paziente febbricitante.

Pur avendo una parte importante nel predisporre le reazioni immunologiche, le funzioni svolte dai vasi linfatici non sono del tutto benefiche, poiché molto spesso è proprio attraverso i vasi linfatici che le cellule tumorali vengono disseminate nel corpo. (In questo caso le «ghiandole» linfatiche possono gonfiarsi a causa della proliferazione di cellule tumorali al loro interno.)

LINFOCITI

I linfociti, come spieghiamo nella voce SANGUE E SUA CIRCOLAZIONE, costituiscono un *genere* di globuli bianchi del sangue, quelli che svolgono la parte più importante in reazioni immunologiche. Benché i linfociti vengano osservati al microscopio da più di un secolo, la comprensione del loro comportamento e delle loro proprietà risale ad anni relativamente recenti.

Gli autori di questo libro svolsero i loro studi di laurea presso l'Istituto di Patologia dell'Università di Oxford, allora diretto da H.W. Florey, il cui risultato principale a quell'epoca, prima dell'avvento della penicillina, fu la scoperta della vita e delle funzioni dei linfociti. Noi fummo invitati a riflettere su un'affermazione di uno dei principali patologi americani, Arnold Rich, che aveva dichiarato: «La nostra completa ignoranza delle funzioni del linfocito è una fra le lacune più umilianti e deplorabili dell'intera conoscenza medica».

Noi avemmo modo allora di familiarizzarci con quello che sarebbe stato chiamato «il grande mistero dei linfociti». Si sapeva da molto tempo che i principali vasi linfatici si univano a formare

altri vasi di calibro crescente e che questi riversavano infine il loro contenuto nelle grosse vene del collo attraverso i dotti toracici destro e sinistro. In tal modo entravano nel flusso sanguigno ogni giorno una cifra dell'ordine di 10^9 linfociti. Il grande mistero dei linfociti era: che cosa facevano, e che cosa accadeva loro? Esperimenti condotti facendo uso di marcatori radioattivi, e studi sulla longevità di linfociti cromosomicamente aberranti nel sangue di pazienti esposti ad alte dosi di raggi X, hanno chiarito da allora che la maggior parte dei linfociti, lungi dall'essere, come si era pensato, cellule effimere che sparirebbero dal flusso sanguigno semplicemente morendo, hanno una durata di vita di mesi o persino di anni. Questa scoperta non faceva altro che rendere più profondo il mistero.

La soluzione, proposta da uno sperimentista dotato che lavorava nel laboratorio di Florey, era che i linfociti presenti nel sangue ne escono attraverso i linfonodi, rientrano nei vasi linfatici e a tempo debito fanno di nuovo ritorno nel sangue. In breve, i linfociti *circolano*, assomigliando sotto qualche aspetto ai membri del coro in una rappresentazione provinciale dell'*Aida*, i quali, dopo essere usciti dalla scena da un lato, vi ricompaiono dall'altro. Il patologo sperimentale che scoprì e descrisse questo fenomeno di importanza cruciale – Sir James Gowans, l'attuale direttore del Medical Research Council della Gran Bretagna e dell'Irlanda del Nord – è la stessa persona che, con la collaborazione di molti altri, scoprì che la funzione dei linfociti è immunologica.

I linfociti sono stati presentati sopra come un genere di cellule, per l'ottima ragione che si differenziano in molte specie diverse. Alcuni sono sensori antigenici, specificamente adattati a riconoscere sostanze estranee che entrino nel corpo per via parenterale. Altri sono cellule effettrici di tipi alternativi: o cellule formatrici di anticorpi o gli agenti dell'immunità del tipo classificato come cellulomediata; quelle di quest'ultimo tipo possono prendere contatto con cellule bersaglio e distruggerle. Altre ancora svolgono un ruolo di sostegno nel rivelare gli antigeni a cellule reattive o nel promuovere la risposta proliferativa a cui l'esposizione ad antigeni di solito conduce. È molto importante che i linfociti non siano quasi mai semplici spettatori, come la folla che si raccoglie sulla scena di un incidente. La presenza di linfociti nel rigetto di trapianti, in tumori o in malattie autoimmuni come l'artrite reuma-

toide è invariabilmente un segnale di eventi che hanno a che fare con reazioni immunologiche.

LINGUAGGIO

Soltanto gli esseri umani comunicano fra loro per mezzo di un «vero» linguaggio, ossia per mezzo di vocalizzazioni che possono avere significati astratti e che sono soggette a inflessioni e variazioni sintattiche tali da consentire di distinguere fra tempi (passato, presente o futuro) e fra modi (indicativo o congiuntivo).

Benché nessun altro animale possa competere con l'uomo per il titolo di «animale linguistico», esistono solo pochissimi animali che non dispongano di alcun mezzo per comunicare con membri della loro stessa specie, attraverso rozze vocalizzazioni, gesti e smorfie, danze o altri movimenti del corpo. Si ritiene che le api bottinatrici comunichino alle loro compagne d'arnia la direzione e la distanza di fonti di cibo per mezzo di tipi di volo e danze stilizzati. Benché la specificità dell'informazione così trasmessa sia stata messa in dubbio, esperimenti critici hanno portato una conferma rassicurante. I filologi respingono con una durezza inopportuna il suggerimento che queste comunicazioni elementari possano costituire anche i rudimenti più rozzi del linguaggio, ma noi pensiamo che essi siano un po' troppo pignoli nel loro giudizio: è un po' come se dicessero che un'espressione infantile come «Tato fa pappa» è troppo lontana dal vero linguaggio per essere considerata un'espressione linguistica.

È implicito nel canone evoluzionistico che persino il comportamento più complesso debba avere un inizio, e non sarebbe sorprendente se negli antropoidi inferiori questo dovesse assumere la forma di grugniti e smorfie, queste ultime rese possibili dal fatto che i primati superiori hanno una faccia: una distinzione questa di livello quasi tassonomico. Il linguaggio non può avere avuto inizio nella forma che si dice abbia assunto nella prima espressione vocale registrata di Thomas Babington Macaulay (il neonato Lord Macaulay): una volta, condotto fuori, la signora presso cui i suoi erano in visita gli versò addosso accidentalmente del tè bollente. Il bambino prima strillò a tutta forza, ma dopo essersi calmato avrebbe rassicurato la padrona di casa comprensibilmente preoccupata dicendole: «Grazie, signora, la sofferenza si è molto atte-

nuata». È improbabile che questo racconto dell'episodio sia vero alla lettera, così come è improbabile che il nostro linguaggio umano abbia avuto origine in una qualche forma accettabile come autenticamente linguistica da un filologo.

LYSENKISMO

L'insieme di credenze noto come lysenkismo prese il nome da Trofim Denisovič Lysenko (1898-1976), il genio del male della genetica e agrobiologia sovietiche, che riuscì a bloccare da solo l'insegnamento e la pratica in Russia della «genetica mendeliana-morganiana» (ossia della genetica *tout court*), facendone cadere in disgrazia i principali esponenti.*

I motivi che indussero Lysenko e il suo collega, l'avvocato I.I. Prezent, a denunciare il mendelismo e il morganismo come metafisici, idealistici, reazionari e strumento della lotta di classe contro il popolo furono probabilmente duplici: ragioni di opportunità politica e gelosia nei confronti del principale genetista e agrobiologo russo, Nikolaj Ivanovič Vavilov (1877-1943). L'opportunità politica entrò in gioco perché la nozione che gli uomini siano geneticamente diversi fra loro e il concetto di una selezione fondata su idee innate ripugnavano alla dottrina marxista ufficiale: un errore di giudizio che non può essere peraltro addebitato allo stesso Marx. La gelosia nei confronti dei meriti di Vavilov e della stima in cui egli era tenuto in tutto il mondo furono sufficienti a suscitare l'animosità di Lysenko contro di lui.

Inoltre fu Nikolaj Maksimov, che lavorava all'Istituto di Botanica applicata di Vavilov, a scoprire e descrivere per primo il fenomeno della vernalizzazione (una scoperta che Lysenko rivendicò a se stesso). Questo procedimento implica una breve esposizione dei semi al freddo e rende in tal modo possibile la semina in primavera di certe varietà di frumento invernale in vista di un raccolto in estate. La vernalizzazione fu citata da Lysenko come una dimostrazione positiva della capacità delle influenze ambientali di produrre mutamenti direzionali specifici nel corredo genetico di orga-

* L'opera standard di riferimento è Zhores A. Medvedev, *The Rise and Fall of T.D. Lysenko*, Columbia University Press, New York 1969; trad. it. *L'ascesa e la caduta di Trofim Denisovič Lysenko*, Mondadori, Milano 1971.

nismi: la convinzione ingenua e di fatto erronea tipica del lamskismo.

L'intrinseca oscurità delle concezioni teoriche di Lysenko e di Prezent e l'uso di pressioni politiche ed abusi personali nella loro presentazione resero quasi impossibile la critica a queste concezioni, per non parlare di un loro rifiuto. Alla loro radice c'era però una recisa negazione della tesi che geni e cromosomi siano agenti della trasmissione ereditaria, o che l'eredità sia mediata da strumenti fisici specifici così distinti dalla totalità dell'organismo: alcuni filosofi naturali in Germania avevano già accennato al fatto che l'eredità doveva essere concepita come una proprietà di ogni elemento di un organismo, «una proprietà interna generale della materia vivente».

La genetica non è semplice, e può darsi che gran parte del lamskismo abbia avuto origine dall'intenso risentimento suscitato in Lysenko dal fatto di trovarsi di fronte ad argomenti troppo difficili per la sua capacità di comprensione. Egli manifestò ripetutamente una fondamentale mancanza di comprensione della genetica. La sua incapacità di afferrarne la metodologia è rivelata dall'osservazione sarcastica: «I geni non si vedono al microscopio». (Ovviamente la fede di un genetista nella realtà dei geni e dei cromosomi non dipende in alcun modo dalla capacità di vederli: la genetica non sarebbe oggi molto diversa da com'è se non fossero mai stati inventati i microscopi.) Similmente ingenua è la convinzione che le mutazioni sono spesso troppo deleterie perché geni mutanti possano essere considerati la materia prima del mutamento evolutivo. Inoltre, a causa del significato mistico da lui assegnato all'ibridazione, Lysenko, mentre negava che il lussureggiamento degli ibridi potesse essere l'esito di incroci fra due linee di piante autofecondanti di varietà diverse, fu indotto a proporre l'assurdità quasi comica che il lussureggiamento degli ibridi potesse essere il risultato di incroci all'interno di una stessa varietà (fra membri di una stessa linea pura).

Era chiaro che il lamskismo non era riconciliabile con la tradizione genetica di Mendel, Weismann, Bateson, Johannsen e con la scuola di Morgan; si pensava che la situazione sarebbe precipitata al Congresso Internazionale di Genetica in programma a Mosca per l'agosto del 1937. Le condizioni in Russia erano però peggiorate così marcatamente che il congresso fu rimandato due volte

(fino al 1939, quando si tenne infine a Edimburgo). Nella primavera del 1937 Stalin invocò pubblicamente nuovi sforzi per liquidare i «trotzkisti e altri doppiogiochisti». Il periodico «Pod znamenem marksizma» [Sotto la bandiera del marxismo] ne approfittò per organizzare una discussione in cui il «filosofo» M.B. Mitin accusò Vavilov di «idealismo menscevizzante» e lo associò alla banda di Trockij-Bucharin-Pašukanis e ai nemici del popolo in generale. Al tempo stesso altri singoli scienziati furono additati alla riprovazione pubblica e l'Istituto di Botanica applicata fu denunciato come un covo della reazione.

In queste circostanze non sorprende che il presidente del Comitato Permanente del Congresso Internazionale di Genetica, Otto Mohr, di Oslo, ricevesse una lettera ufficiale che rimandava il congresso dall'agosto 1937 all'agosto 1938 e che denunciava come menzogne le voci sull'arresto di Vavilov e di altri eminenti genetisti sovietici. («Non credere mai a una voce finché non viene smentita ufficialmente» è un vecchio adagio giornalistico.) Una fazione contro Vavilov andava sviluppandosi nel suo stesso istituto, sotto la guida del capo del dipartimento subtropicale, G.N. Šlykov. Vavilov si difese col ragionamento scientifico dai volgari attacchi cui fu fatto segno e in un'occasione ricordò al pubblico che lo insolentiva che Friedrich Engels, nella *Dialettica della natura*, si era spinto al punto di qualificare Newton con l'epiteto di «asino induttivo».

Come abbiamo visto, l'opposizione a Vavilov fu intensificata dal grandissimo rispetto che gli veniva tributato dal mondo esterno. Egli era stato in effetti eletto presidente del Congresso Internazionale di Genetica convocato a Edimburgo nel 1939, congresso cui non gli venne consentito di presenziare. Nell'agosto 1940 Vavilov fu arrestato dalla polizia segreta NKVD. Dopo il processo, con la sua conclusione scontata, egli fu rinchiuso in una cella sotterranea senza finestre nella prigione di Saratov, dove morì, almeno in parte per denutrizione, dopo qualche mese.

Nel febbraio 1965 anche Lysenko fu screditato. Dopo una denuncia deliberatamente più mite di quelle di cui egli stesso era stato così spesso autore, fu destituito da direttore dell'Istituto di Genetica.

Sul lysenkismo non c'è il problema se sia giusto o sbagliato: è sicuramente sbagliato. Lysenko campeggia come la figura più signi-

ficativa nella scienza sovietica del XX secolo. La sua influenza fu nefasta, e la sua impresa più spettacolare fu l'aver arrestato lo sviluppo della genetica in Russia, privando così il mondo del contributo imponente che i suoi principali biologi avrebbero potuto dare, e che in realtà avevano già cominciato a dare.

MALARIA

Febbre ricorrente causata da un protozoo parassita del genere *Plasmodium*, la malaria è la peggiore malattia infettiva che affligge l'umanità. Essa è certamente la malattia più letale del mondo, intendendo la parola «mondo» in senso ecologico, ossia non solo nel senso di qualche paese del mondo occidentale. Gli amanti delle etimologie saranno compiaciuti nell'apprendere che la parola «malaria» ha avuto origine dalla convinzione che la malattia fosse prodotta da «mala aria», ossia dagli effluvi tossici che salgono da luoghi acquitrinosi o umidi.

La malaria è o è stata endemica nell'Africa Occidentale, nel bacino mediterraneo e nel Sud degli Stati Uniti (dove fu introdotta probabilmente dopo la scoperta dell'America per opera di Colombo). Pur avendo tutti i segni di una malattia non inglese, la malaria fu un tempo endemica nelle paludi dell'Essex, e gli ultimi casi furono ammessi al Saint Thomas' Hospital poco più di cent'anni fa.

La durata del ciclo febbrile nella malaria, con la febbre che ricorre ogni terzo giorno (febbre terzana) o ogni quarto giorno (febbre quartana), varia col ciclo riproduttivo del parassita nel corpo umano. Il gene *S*, che trasforma l'emoglobina normale, *A*, nell'emoglobina variante *S*, è un marcatore ecologico attendibile di luoghi in cui la malaria è o è stata endemica. Come si spiega in altre voci (POLIMORFISMO; DREPANOCITICA, ANEMIA), l'emoglobina *S* conferisce alla forma eterozigotica una certa protezione contro la malaria.

Fra coloro che si resero più benemeriti nello studio della malaria sono Charles-Louis-Alphonse Laveran (1845-1922), che scoprì il protozoo parassita che causa la malattia, e G.B. Grassi e Giu-

seppe Bastianelli, che dimostrarono che principale vettore della malaria è la zanzara anofele: idea che fu corroborata dalla scoperta dei parassiti, per opera di Ronald Ross, nell'intestino della zanzara.

È noto dal Settecento che la chinina, un alcaloide estratto dalla corteccia dell'albero di china, ha proprietà antimalariche; oggi essa continua a essere usata con funzioni preventive nel farmaco Proguanil (Paludrin). A lungo termine, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ritiene che la zanzara anofele debba essere sterminata per mezzo di insetticidi e con un attacco alla fase più vulnerabile del suo ciclo vitale (nella quale la larva di zanzara è sospesa alla pellicola superficiale di acqua ferma). I detersivi, essendo efficaci tensioattivi, possono far affondare le larve, e una pellicola di paraffina può impedirne la respirazione. Per molte ragioni questi procedimenti non hanno avuto il successo sperato: le zanzare sviluppano rapidamente una resistenza agli insetticidi, cosicché il trattamento di acque ferme ha solo un effetto temporaneo, oltre a essere costoso e a presentare difficoltà di somministrazione.

Nonostante le difficoltà attuali, la malaria sarà debellata. Le conseguenze demografiche di questo progresso saranno enormi. Esistono un così gran numero di predizioni allarmanti sulla popolazione mondiale dell'anno 2000 che alcune persone tendono per reazione a credere che la sovrappopolazione non sia ancora un vero problema. Quest'opinione è però sbagliata: è stato giustamente detto che le battute iniziali del *Dies iræ* stanno suonando proprio ora.

MALATTIA

Ogni cultura, senza dubbio, ha la sua teoria della malattia. Nel mondo occidentale in generale, e forse in tutti i paesi in cui prevale una morale ebraico-cristiana, si è affermata la *teoria della malattia come punizione*: noi siamo malati perché abbiamo peccato, o perché a volte hanno peccato i nostri genitori. La teoria della punizione non è altro che un'estrapolazione alla malattia di osservazioni alla buona come quelle che collegano il mal di stomaco all'aver mangiato in quantità eccessiva, un'indisposizione all'aver ecceduto nel bere, e la sifilide ai rapporti sessuali.

La teoria della punizione è profondamente erronea e a volte

può essere molto crudele. L'idea che il prolasso uterino sia una conseguenza di eccessi sessuali è citata altrove come esempio della credulità di Aristotele e della sua abituale confusione fra ciò che è vero e ciò che, secondo lui, *dovrebbe* essere vero. La teoria della punizione è una naturale alleata della convinzione che l'attività sessuale, essendo piacevole, dev'essere dannosa; ancora in un passato recente l'idea che le donne avessero desideri sessuali e traessero piacere dal loro appagamento veniva ripudiata come una «vile calunnia», e fino a poco tempo fa generazioni di scolari venivano solennemente ammoniti che la masturbazione avrebbe potuto toglier loro la vista e forse perfino l'uso della ragione.

La liberazione dell'umanità dalle oscure superstizioni incarnate nella teoria della malattia come punizione potrebbe essere considerata uno dei massimi benefici di cui siamo debitori alla scienza medica. La gente si ammala per una varietà di ragioni, nessuna delle quali può essere interpretata come una punizione: carenze dietetiche; infezioni per opera di batteri, di protozoi e di virus; disfunzioni delle ghiandole endocrine come quelle che danno origine al diabete; morbo di Addison; e cretinismo, la conseguenza di una deficienza tiroidea cronica. C'è, per inciso, un tratto di carità nel designare le vittime di quest'ultima malattia come «cretini», poiché la parola «cretino» deriva dal francese *chrétien*, che significa cristiano. «L'implicazione di questa parola», secondo il lessicografo C.T. Onions, «è che questi esseri sono umani, benché diminuiti e deformati nella loro umanità.» C'è però ben poca carità nell'interpretazione di deformità congenite come una punizione dei genitori: è intollerabile che, oltre al trauma e alla continua infelicità per aver messo al mondo un bambino anormale o ritardato, i genitori debbano essere costretti a cercare in se stessi la spiegazione di una sventura dovuta forse a un caso a livello cromosomico, una combinazione infelice di geni recessivi o un'aberrazione cromosomica causata forse da una radiazione ionizzante.

Benché la teoria della malattia a cui ci ha abituati la scienza medica moderna abbia esercitato su di noi un effetto liberatore e benefico, si deve dire che essa tende a tenere in troppo scarsa considerazione l'influenza degli stati d'animo sulle condizioni di salute. L'influenza della psiche sul soma è stata riconosciuta con vario grado di convinzione nella resistenza ad alcune infezioni (in particolare tubercolari), nella coronaropatia e persino nel cancro. Ci

pare che un medico che sminuisca o rifiuti del tutto la nozione di un'interazione fra psiche e soma non sia probabilmente un ottimo medico.

MEIOSI

Forma di divisione cellulare tipica della formazione dei gameti in organismi che si riproducono sessualmente, la meiosi consiste in linea di principio in due divisioni mitotiche successive accompagnate da una sola divisione del nucleo. Una cellula germinale primitiva, come le comuni cellule somatiche, è diploide: in essa, cioè, i cromosomi sono presenti a coppie, e i cromosomi di ciascuna coppia sono derivati uno da ciascun genitore. In conseguenza della meiosi i gameti risultanti non contengono più il numero diploide di cromosomi, ma solo metà di tale numero, e ciascun cromosoma corrisponde a uno solo dei due cromosomi appaiati del gametocito originario: è questa la condizione aploide, tipica dei gameti. La segregazione dei due cromosomi nella meiosi è casuale, e così anche la loro riunione nella fecondazione: due eventi casuali – segregazione e ricombinazione – che sono responsabili del carattere probabilistico dell'eredità mendeliana.

MEME

È il termine introdotto da Richard Dawkins per designare ciò che si trasmette nell'eredità esogenetica: in altri termini, l'unità culturale che viene trasmessa da una generazione all'altra. Per motivi a un tempo di priorità e di etimologia, sarebbe stato più giusto chiamarla «mneme». La priorità è di Ewald Hering, e la radice è greca (*mnem*-, «memoria, ricordo»). Se la parola e il concetto che essa designa risulteranno utili, attecchiranno; altrimenti saranno condannati a sparire.

METABOLISMO

Le trasformazioni e interazioni molecolari che presiedono all'accrescimento e alla conservazione di un organismo ne costituiscono il metabolismo. Quella parte del metabolismo che ha a che fare con la costruzione di molecole più grandi a partire da molecole più

piccole si chiama anabolismo, in contrapposizione alla scomposizione di molecole più grandi in molecole più piccole, che ha luogo nella digestione e nei processi che liberano energia, e che è nota come catabolismo.

MIASTENIA GRAVE

Paralisi cronica e progressiva dei muscoli volontari, la miastenia grave – detta anche paralisi bulbospinale o malattia di Erb-Golfam – è accompagnata da una distruzione infiammatoria del timo e sfocia infine in una totale inabilità dell'individuo che ne è afflitto. Come molte altre malattie autoimmuni, è caratterizzata da un alternarsi di episodi di esacerbazione e di remissione.

La somiglianza – rilevata per la prima volta da Dennis Denny-Brown – fra i sintomi di questa malattia e l'avvelenamento da curaro condusse all'introduzione di anticolinesterasici per conseguire un'attenuazione dei sintomi. Il trattamento clinico attuale si fonda sul riconoscimento del fatto che la miastenia è una malattia autoimmune. La reazione di immunità è diretta contro la proteina caratteristica del recettore dell'acetilcolina alla giunzione fra una fibra nervosa motoria e il muscolo scheletrico che essa innerva. Vengono usati farmaci immunosoppressivi, spesso accompagnati da plasmaferesi: l'estrazione del sangue, seguita da lavaggio dei globuli rossi e loro risospensione e reiniezione in un sostituto blando del plasma, privo degli anticorpi che provocano la reazione indesiderata.

L'implicazione del timo, che spesso viene asportato a sua volta, è chiarita da una coltura tessutale di tessuto di timo: nella coltura sono presenti precursori embrionali di cellule muscolari in grado di differenziarsi in cellule contrattili contenenti i recettori dell'acetilcolina che sono i bersagli dell'attacco autoimmune nella miastenia.

MIMETISMO

In generale si può designare come mimetismo ogni adattamento di struttura, comportamento, costituzione o colore in virtù del quale un organismo viene ad assomigliare a un altro organismo o al suo sfondo; il termine è però usato più spesso per descrivere somi-

glianze adattive fra due o più organismi, a vantaggio di uno di essi o di tutti.

Nel cosiddetto mimetismo batesiano, o mimetismo vero, l'organismo che lo adotta viene ad assomigliare a una specie aggressiva, di sapore sgradevole o comunque repellente. Non sorprende, perciò, che api e vespe vengano spesso imitate da insetti di molti altri ordini, anche se a volte il mimetismo può limitarsi all'imitazione della vistosa colorazione aposematica (di avvertimento) propria di molti organismi aggressivi o repellenti: un adattamento che può essere inteso come un mezzo biologicamente economico per mettere in guardia i predatori. Nel mimetismo mülleriano varie specie repellenti appartenenti a unità tassonomiche molto lontane fra loro assumono un aspetto simile, con vantaggio comune per tutti i membri del gruppo. Il mimetismo può essere, oltre che strutturale, anche comportamentale: le larve di platelminti, per esempio, si muovono talvolta in modo da assomigliare alle prede naturali di uccelli che sono i loro ospiti intermedi. Alcuni schistosomi si assicurano una protezione nei confronti delle difese immunologiche dei loro ospiti imitando questi ultimi antigenicamente, in modo da non essere riconosciuti come «estranei».

L'imitazione, da parte di un organismo, di un altro organismo o del suo ambiente, è spesso di una precisione così straordinaria da suscitare esclamazioni incredule da parte di non-biologi all'idea che essa possa essere dovuta alla selezione naturale. In difesa della teoria ortodossa si deve però sottolineare che nel mimetismo ci troviamo normalmente di fronte a situazioni in cui si esercitano pressioni selettive molto forti, cosicché anche variazioni minime, impercettibili al giudizio umano, in direzione della somiglianza al modello, possono venire incluse rapidamente nel genoma.

MITOCONDRI

Organelli in forma di bastoncelli o di granuli sferici presenti nelle cellule di animali eucarioti e di piante, i mitocondri si trovano anche nelle cellule uovo e negli spermatozoi. Attraverso le cellule germinali essi passano da una generazione all'altra, essendo strutture biogenetiche, autoriproducendosi, che non vengono sintetizzate *ex novo*. Benché la maggior parte del DNA sia confinata nel nu-

cleo, i mitocondri sono insoliti per il fatto di contenere il loro proprio DNA. La loro importanza fisiologica consiste nel fatto che essi sono la sede principale della respirazione cellulare, ma il loro massimo interesse per biologi con curiosità filosofiche risiede nell'estrema probabilità che i mitocondri abbiano avuto origine nel corso dell'evoluzione come simbionti batterici di organismi superiori: un'ipotesi compatibile col loro aspetto, mobilità, origine biogenetica, contenuto di DNA e risposta a una varietà di inibitori della sintesi delle proteine.

MITOSI

Con questo nome si indica il processo nella divisione cellulare con cui il nucleo della cellula si scinde in due nuclei figli geneticamente identici attraverso la spartizione, uno a ciascuna cellula figlia, dei due cromosomi in cui ciascun cromosoma parentale si è scisso prima dell'inizio della mitosi. Nello sviluppo, il clone di cellule che dà origine all'organismo adulto discende per mitosi dall'uovo fecondato, cosicché ciascuna cellula nel corpo ha lo stesso complemento di geni, anche se ovviamente in cellule diverse possono esprimersi geni differenti. I biologi sono convinti dell'uguaglianza genetica delle divisioni cellulari nell'embrione perché le due cellule figlie in cui lo zigote si divide – o può dividersi dopo la sua prima segmentazione – sono in grado ciascuna di dare origine a un intero organismo (anche se in qualche organismo ciascuna di esse può dare origine solo a mezzo organismo). Nella voce sui CLONI, inoltre, sottolineiamo che intere piante possono nascere vegetativamente da una coltura di una singola cellula. È possibile, infine, inserire sperimentalmente un normale nucleo somatico tratto da un tessuto embrionale – per esempio il nucleo di una cellula epatica embrionale – in uno zigote da cui sia stato asportato il nucleo; se l'esperimento non fallisce per ragioni tecniche ne seguirà uno sviluppo normale. Sulla divisione riduzionale o mitosi eterotipica vedi la voce MEIOSI.

MOLLUSCHI

Questo *phylum* molto esteso ed estremamente vario che annovera decine di migliaia di specie comprende lumache e chioccioline, miti-

li, ostriche e pettini, e quegli organismi relativamente primitivi che sono i placofori o chitoni. I molluschi sono animali dal corpo molle e in generale non segmentato, e la loro conchiglia, quand'è presente (le lumache ne sono prive), è esterna. I molluschi più avanzati (che sono in effetti anche gli animali invertebrati più evoluti) hanno nondimeno una conchiglia interna. Questi molluschi sono gli ottopodi (polpi) e i decapodi (seppie e calamari), riuniti nella classe dei cefalopodi, che hanno un sistema nervoso relativamente molto sviluppato. Essi sono assai più mobili di altri molluschi e hanno una versatilità di comportamento che ha fatto di loro dei soggetti mirabili per ricerche sulla correlazione fra comportamento e sistema nervoso. I decapodi hanno anche fibre nervose sorprendentemente grandi («giganti»), che sono state preziose per l'investigazione biofisica della conduzione di impulsi nervosi.

MONOTREMI

Mammiferi primitivi che rappresentano una forma intermedia fra rettili e mammiferi, i monotremi devono essere strettamente simili agli animali che segnarono la transizione evuzionistica fra rettili simili a mammiferi e mammiferi veri.

Alcuni fra i caratteri dei monotremi sono rettiliani, altri mammaliani e altri ancora *sui generis*. Il più sorprendente fra i caratteri rettiliani è la conservazione dell'abitudine di deporre uova con guscio; inoltre il retto e le aperture urinaria e genitale sfociano all'esterno attraverso un dotto comune, la cloaca. Fra i caratteri chiaramente mammaliani sono il possesso di ghiandole mammarie simili per struttura fine a quelle di mammiferi superiori e – tre caratteri che si accompagnano – il possesso di pelo, la presenza di un diaframma che separa la cavità addominale da quella toracica, e l'omeotermia. (Il diaframma rende possibile un ritmo respiratorio più rapido di quello dei rettili, che è a sua volta condizione della più intensa attività metabolica associata all'omeotermia. La regolazione della temperatura non è però ancora efficiente come nei mammiferi più evoluti.) Un altro carattere mammaliano è la riduzione della mandibola a un osso singolo, il dentale, e la liberazione di altre ossa della mandibola tipiche dei rettili per trasmettere vibrazioni dalla membrana timpanica all'orecchio interno.

Fra i caratteri distintivi dei monotremi potrebbe essere annove-

rata l'assenza di denti negli adulti e il possesso, da parte del maschio, di una ghiandola del veleno comunicante con uno sperone corneo perforato sulle zampe posteriori, all'altezza della «caviglia». Il cervello, in complesso, ha una struttura mammaliana, anche se manca il corpo calloso, la connessione nervosa fra i due emisferi cerebrali. Si conoscono varie specie di monotremi echinidi, che si cibano di insetti, prediligendo però formiche e termiti, e che posseggono le modificazioni associate a questa dieta presenti in mammiferi superiori.

È ovvio che i caratteri dei monotremi sarebbero del tutto inapplicabili se non si vedessero in essi i rappresentanti di una fase evolutiva intermedia fra rettili e mammiferi. (Vedi le voci su EVOLUZIONE, PROVE DELL', e RICAPITOLAZIONE.) I monotremi più noti sono l'ornitorinco o platipo e l'echidna isticca.

MORTALITÀ, FORZA DI

La forza di mortalità (o intensità di mortalità) è il quoziente specifico di mortalità per età. In un'ipotetica popolazione non soggetta a senescenza (decadenza organica connessa al crescere dell'età), la forza di mortalità sarebbe costante. In una popolazione reale essa invece ha un andamento caratteristico: da un valore elevato in corrispondenza dei primi due anni di vita, a causa dei pericoli specifici associati alla nascita e alla primissima infanzia, diminuisce fino a un minimo in corrispondenza del quattordicesimo o quindicesimo anno di vita, ossia il periodo in cui è più probabile per l'individuo vivere un altro anno, un altro mese, un altro giorno, un altro minuto rispetto a qualsiasi altra età. È questo anche il periodo in cui il valore riproduttivo dell'essere umano è massimo. Dopo questo periodo la forza della mortalità aumenta inesorabilmente fino agli ultimi anni di vita, poiché col passare degli anni diventiamo sempre più vulnerabili.

MULI

Benché cavalli e asini siano assegnati a specie diverse (rispettivamente *Equus caballus* e *E. asinus*), sono interfecondi: la progenie di un asino maschio con una giumenta è detta mulo e quella di uno stallone con un'asina bardotto. Muli e bardotti hanno svolto un

lavoro prezioso per vari millenni al servizio dell'umanità, anche se la loro utilità è diminuita dopo l'avvento della meccanizzazione nell'agricoltura. La proverbiale cocciutaggine di asini e muli non va attribuita a niente di più profondo del loro uso da parte di persone abitualmente insensibili agli animali e indifferenti al loro benessere.

NEODARWINISMO

Quando Charles Darwin formulò la teoria generosamente designata da Alfred Russel Wallace come darwinismo, né Wallace né lo stesso Darwin avevano un'idea corretta della natura dell'eredità biologica, anche se entrambi si rendevano conto che la selezione naturale non poteva essere un agente dell'evoluzione a meno che le varianti su cui si diceva che essa agisse non fossero il prodotto di variazioni *ereditabili*.

I nuovi genetisti – Thomas Hunt Morgan, William Bateson e R.C. Punnett – erano ben consapevoli delle insufficienze della teoria dell'evoluzione considerata come un teorema di storia naturale. La consapevolezza di tali imperfezioni condusse Bateson a osservare, nella sua grande opera *Mendel's Principles of Heredity* (Cambridge 1909), che la convinzione che Darwin non avesse lasciato nulla da chiarire era così profondamente radicata che dopo Darwin lo studio di qualsiasi argomento connesso al problema delle specie era «contrassegnato dall'apatia tipica di un'epoca di fede».

Nonostante questi segni di insoddisfazione, si dovette attendere sino agli anni venti e trenta perché Sewall Wright, J.B.S. Haldane e R.A. Fisher proponessero la metodologia e i principali teoremi di un darwinismo rifondato sulla genetica mendeliana: in breve, un neodarwinismo.

In questo nuovo darwinismo l'oggetto della selezione – ciò che viene selezionato – è il gene, e particolarmente importante è in proposito il concetto di frequenza genica. L'accusa di irrealtà così spesso rivolta alla frequenza genica è stata dissipata dal teorema di Hardy-Weinberg, che rende possibile tradurre asserzioni sulla

frequenza genica in asserzioni sulla frequenza di genotipi nella popolazione.

Il principio fondamentale della teoria neodarwiniana – ciò che dovrebbe formare la linea di base di tutto il nostro pensiero – è la conservazione della varianza genetica: la frequenza genica in una popolazione interfeconda rimane costante da una generazione all'altra a meno che sulla popolazione non si eserciti una qualche «forza». Una forza, descritta in modo appropriato, ha grandezza e direzione; la grandezza di qualsiasi forza che incida sulla frequenza genica è misurata dalla velocità di mutamento della frequenza genica, e la sua direzione è data dal segno o senso delle sostituzioni geniche in corso (per esempio, se un allele A' sia sostituito a un gene A o viceversa).

Vari agenti possono causare un mutamento nella frequenza di geni ed essere quindi agenti di evoluzione. Il primo è la cosiddetta deriva, ossia errori nel prelevamento casuale dei geni nei genitori di una generazione successiva in conseguenza dei quali la frequenza genica fluttua e le proporzioni dei genotipi nella generazione seguente non sono in accordo con la teoria. Quando accade per caso che la deviazione da una distribuzione casuale operi nella stessa direzione in varie generazioni successive, il mutamento sistematico della frequenza genica è noto come deriva (vedi la definizione di «Deriva genetica» nella voce GENETICA ED EMBRIOLOGIA, TERMINI DI). Noi non possiamo negare l'esistenza di una tale deriva, ma l'entità del suo contributo al mutamento evolutivo è ancora oggetto di controversie. I fautori di questa nozione attribuiscono una particolare importanza alla deriva genetica quale si verifica in piccole popolazioni.

Un secondo agente di mutamento che potrebbe far variare in modo sistematico le frequenze geniche è la pressione di una mutazione in corso, ossia per esempio la ripetuta sostituzione di un allele mutante A' al gene A . La mutazione è però un evento così infrequente che i darwiniani non attribuiscono alla pressione di mutazione un grande peso come agente evolutivo.

L'agente evolutivo di gran lunga più importante è la selezione naturale, il contributo duraturo di Darwin alla biologia, quello che continua a godere di una stima intatta da parte dei biologi, anche se a volte profani e dilettanti disapprovano questa nozione.

Fra i fraintendimenti sul neodarwinismo, nessuno è più diffuso

di quello che lo identifica con l'affermazione che ciò che la natura seleziona sono le mutazioni, o, più precisamente, geni mutanti o organismi mutanti. Questa è però una parodia del neodarwinismo, e noi cogliamo qui l'opportunità di riaffermare la nostra tesi che le mutazioni *non* hanno origine in risposta a bisogni dell'organismo, né li soddisfano se non per caso. I candidati all'evoluzione sono forniti dalla gamma virtualmente infinita di varianti prodotte dalla ricombinazione genetica, resa possibile dalla segregazione genetica, dalla riunione casuale di gameti nel processo sessuale e dal *crossing over*. Questa prodigiosa varietà combinatoria, in cui gli elementi di ricombinazione vengono ulteriormente arricchiti di tanto in tanto da mutazioni, offre alla selezione naturale un repertorio comprendente bilioni di candidati – di organismi possibili –, ciascuno dei quali può dare un contributo significativo a una soluzione del problema di rimanere in vita in un ambiente prevalentemente ostile.

Tale è la teoria neodarwiniana dell'evoluzione per selezione naturale. Il darwinismo stesso ha ovviamente i suoi difetti: esso non può essere del tutto assolto dall'accusa di dare spiegazioni superficiali e dal rimprovero di non spiegare in modo molto convincente il progresso evolutivo, ossia di adottare talvolta soluzioni più complicate di quelle richieste dalle esigenze della sopravvivenza e della riproduzione. È però insostenibile l'obiezione che si fa più spesso al darwinismo: l'*inconcepibilità* che adattamenti evolutivi così fini e minuziosi come molti di quelli che si osservano in natura possano essersi verificati per mezzo di tale meccanismo. La lagnanza di «inconcepibilità» è però una critica che colpisce noi stessi piuttosto che il neodarwinismo. Non possiamo fare a meno di ricordare che l'eminente fisiologo inglese della respirazione John Scott Haldane dichiarò «inconcepibile» che potesse esistere un composto chimico avente esattamente le proprietà oggi note per l'acido desossiribonucleico, come engramma dell'eredità biologica, un sistema di istruzioni per l'esecuzione dello sviluppo.

Il neodarwinismo ha ovviamente i suoi difetti. Come il darwinismo, ha una certa misura di superficialità nelle sue spiegazioni. È inoltre difficile pensare a un esperimento o a un insieme di osservazioni in grado di falsificarlo: uno di tali test potrebbe consistere nel creare una differenza ereditabile per mezzo della selezione artificiale all'interno di una popolazione di topi altamente *inbred*, an-

zi omozigotica. Così, se Samuel Butler e William McDougall avessero avuto ragione nelle loro congetture sull'ereditabilità del comportamento, il neodarwinismo sarebbe minato completamente qualora si riuscisse a migliorare la capacità di apprendimento per mezzo della selezione di topi *inbred* nel corso di un esperimento della durata di molte generazioni con la stessa dieta. Quand'anche un biologo fosse disposto a intraprendere un tale esperimento, non troverebbe alcun ente scientifico disposto a finanziarlo.

NEOTENIA

La velocità relativa di sviluppo delle varie parti del corpo, comprese le gonadi, non è immutabile. Una delle deviazioni più interessanti (e, dal punto di vista evoluzionistico, più importanti) da un tempo e ordine di differenziamento stabiliti è quella per cui un organismo diventa sessualmente maturo in una fase relativamente giovanile. Quello che finisce così con l'essere in effetti un adulto conserva perciò caratteri giovanili, e addirittura larvali, nella vita adulta. Il termine generale, coniato da Gavin de Beer, per designare questo fenomeno, è pedomorfosi.

La neotenia, la cui autenticità è incontestabile, è esemplificata nel modo migliore dall'anfibio messicano axolotl, la forma larvale di una salamandra americana del genere *Amblystoma* in cui l'axolotl può essere indotto a trasformarsi. Walter Garstang fu fra i primi a far derivare per neotenia i cordati superiori dalle larve in forma di girini delle ascidie. L'intrinseca plausibilità della teoria è attestata dal fatto che un'intera classe del *phylum* delle ascidie, i *Larvacea* o appendicularie, è composta da larve di ascidie chiaramente neoteniche.

Si ritiene che gli esseri umani debbano qualche loro carattere al fatto di essere una forma neotenica rispetto alle grandi scimmie antropomorfe. Nel 1926 Ludwig Bolk introdusse il termine *fetalizzazione* per descrivere i mutamenti che facevano conservare agli esseri umani alcuni fra i caratteri fetali dei grandi pongidi: il cervello relativamente enorme, la posizione del *foramen magnum* e l'orientamento perpendicolare del cranio rispetto alla colonna vertebrale, il corpo privo di pelosità, il colore chiaro della pelle e certi altri caratteri. Con la sua usuale inventiva, Aldous Huxley, in *After Many a Summer*, immaginò una situazione in cui un

estremo prolungarsi della vita consentiva a un essere umano di trasformarsi in una scimmia adulta.

Considerata uno stratagemma dell'evoluzione, la neotenia consente una trasformazione evolutiva relativamente rapida e radicale, fornendo quella che A.C. Hardy designò come una «fuga dalla specializzazione».

NERVINI, GAS

Un gas nervino è un liquido volatile, sovente un composto organofosforico, e il vapore che esso libera paralizza efficacemente le sue vittime agendo come un anticolinesterasico. I gas nervini più apprezzati da coloro che intendono usarli sono incolori e non irritanti e quindi estremamente insidiosi nella loro azione. Hanno qualche applicazione come antiparassitari.

NERVOSI, IMPULSI

Un nervo è essenzialmente un fascio di fibre nervose decorrenti in una stessa direzione. Di norma connette il sistema nervoso centrale, l'encefalo, il midollo spinale e così via con organi periferici motori e, inversamente, connette gli organi di senso col sistema nervoso centrale. Tali fasci di fibre hanno una delicata struttura di tessuto connettivo e vengono riforniti dei materiali di cui hanno bisogno da vasi sanguigni ma non da vasi linfatici. Un nervo *all'interno* del sistema nervoso centrale che connette una sua parte con un'altra si dice via nervosa; ne è un esempio la via «piramidale» o «corticospinale», che trasmette impulsi nervosi dalla corteccia cerebrale alla periferia lungo il midollo spinale.

I nervi periferici possono essere motori o sensori o misti. Dal modo in cui si forma l'occhio nel corso dello sviluppo è chiaro che il cosiddetto nervo ottico non è in realtà un nervo nel senso in cui lo è per esempio il nervo sciatico, bensì una via nervosa cerebrale. I corpi cellulari dei neuroni sensori che decorrono in questa via si trovano nella retina stessa.

La comunicazione nervosa avviene per mezzo di impulsi nervosi. Un impulso nervoso è un mutamento di stato che si propaga nella membrana della fibra nervosa; nulla di materiale passa lungo la fibra, non più che in una fila di tessere del domino disposte

in piedi una dopo l'altra in modo tale che, dando un colpetto a una, si determina la caduta successiva di tutte le altre. Anche in questo caso si propaga un mutamento di stato: quel che si muove non è una sostanza materiale, bensì un *segnale*. Una fibra nervosa può condurre impulsi in entrambe le direzioni. L'interfaccia fra due neuroni, la *sinapsi*, polarizza l'impulso, che può attraversare la sinapsi in una sola direzione. I segnali nel sistema nervoso lavorano sul principio della FM (modulazione di frequenza) in contrapposizione all'AM (modulazione di ampiezza), perché i treni di impulsi nervosi differiscono l'uno dall'altro solo per frequenza: l'ampiezza è fissa e non si altera al mutare della distanza dal punto di stimolazione. Se però, in conseguenza di narcosi o di un qualche mezzo equivalente, si verifica una caduta dell'ampiezza attraverso un qualche tratto del nervo, l'ampiezza torna a riprendere il suo valore originario una volta che il segnale abbia superato il tratto alterato. Questa è una prova del fatto che l'impulso nervoso è autoenergizzato, ossia che trae la sua energia dal nervo stesso.

L'impulso nervoso è stato descritto da uno fra i suoi principali studiosi come «la moneta circolante universale del sistema nervoso». In effetti, il fatto che la maggior parte delle attività del sistema nervoso, compreso il cervello, venga svolta per mezzo di segnali elettrici è uno degli aspetti sotto cui cervello e sistema nervoso sono simili a computer.

NUCLEICI, ACIDI

Proteine, carboidrati e grassi hanno una grande varietà di funzioni strutturali e metaboliche da assolvere nel corpo, ma le funzioni degli acidi nucleici sono relativamente semplici: essi sono il veicolo delle informazioni per lo sviluppo e la trasmissione ereditaria. Così, nel cromosoma, la parte formata da acido nucleico è quella che trasmette il messaggio ereditario, ed è un altro acido nucleico a inoltrare questo messaggio al meccanismo di sintesi della cellula, facendo sì che una proteina venga montata in un modo particolare, con gli amminoacidi che la compongono allineati secondo un ordine specifico.

Un acido nucleico è una grande molecola lineare di struttura chimicamente ripetitiva (polimerica), il cui scheletro è formato da legami fra molecole di fosfato e molecole di zuccheri a cinque ato-

mi di carbonio o pentosi. Questi si distinguono in due tipi, che danno il loro nome alle principali categorie di acido nucleico: *ribosio* nell'acido ribonucleico (RNA) e *desossiribosio* nell'acido desossiribonucleico (DNA). L'acido nucleico presente nei cromosomi è DNA, che si trova anche fuori del nucleo, per esempio nei mitocondri. Alla catena polinucleotidica formata da raggruppamenti fosforici e pentosi sono unite basi organiche contenenti azoto che sono purine (adenina e guanina) o pirimidine (timina e citosina). L'unità tettonica di un acido nucleico – il monomero da cui il polimero è composto – è un *nucleotide*, composto da un raggruppamento fosforico, da una molecola di zucchero e da una base organica; è l'ordine delle basi organiche lungo la molecola a codificare l'informazione genetica o il messaggio genetico che passa da una generazione alla successiva. Nella sintesi di una proteina, che richiede il montaggio in un ordine particolare degli amminoacidi che la costituiscono, gli acidi ribonucleici (che sono di specie funzionali diverse) svolgono un'azione di mediazione. Innanzitutto si procede a riprodurre l'ordine specifico dei nucleotidi presenti nella molecola di DNA su un filamento di RNA messaggero. Sulla base strutturale di una minuta particella citoplasmatica nota come ribosoma, questo RNA messaggero trasferisce l'informazione a un'altra specie ancora (solubile) di RNA, noto come RNA di trasporto, in cui ciascuna molecola si fissa a un amminoacido specifico. Con questo procedimento l'informazione contenuta nella molecola originaria di DNA viene riprodotta nella struttura di una proteina. Per convenzione, la transazione fra il DNA e l'RNA è nota come trascrizione, mentre si dice che l'RNA viene tradotto nella struttura di una proteina.

Si ritiene comunemente che le ricerche che condussero a scoprire la struttura degli acidi nucleici, che ne chiarirono la funzione genetica e che dimostrarono in che modo trasmettono informazioni nel metabolismo cellulare siano fra i progressi scientifici più brillanti e illuminanti del Novecento. Noi concordiamo con questa interpretazione. I progressi furono però molto lenti, poiché, quando gli acidi nucleici furono riconosciuti per la prima volta come sostanze chimiche, i metodi di estrazione erano così violenti, implicando spesso il riscaldamento in una base o simili, che la struttura cristallina dell'acido nucleico finiva con l'andare del tutto distrutta. Il lettore troverà compendiate nella voce BIOLOGIA MO-

LECOLARE le ricerche che accertarono infine la parte svolta dagli acidi nucleici nel trasferimento di informazione genetica. Il procedimento fu in un certo senso di tipo concettuale. Solo quando si concepì il gene come un *messaggio* si ebbe uno speciale incentivo ad associare questi messaggi genici alla particolare struttura cristallina di una macromolecola come l'acido nucleico. È il differenziamento lineare della molecola a provvedere al trasferimento di informazione, ma la duplicazione è resa possibile dal fatto che la molecola, elicoidale, è composta da due filamenti, e che questi sono complementari in modo tale che uno qualsiasi dei due può essere preso come base per il montaggio della metà complementare.

OLISMO

L'olismo è una dottrina che ha esercitato una forte attrazione su filosofi naturali e su filosofi dilettanti in generale, il più famoso fra i quali fu Jan Christiaan Smuts (1870-1950), ex primo ministro del *dominion* del Sudafrica, autore di *Holism and Evolution* (London 1926).

L'olismo insegna che ogni totalità, e specialmente un intero organismo, non è semplicemente la somma delle parti che lo compongono, ma gode di un'integrità o totalità in ragione delle interrelazioni e interdipendenze funzionali delle sue varie parti. L'opinione filosofica contro cui gli olisti professano di difenderci è quella praticata dal meccanicista riduzionista, il quale ritiene che un organismo non sia altro che la somma delle parti che lo compongono, parti il cui rapporto funzionale fra loro è spiegabile completamente in termini fisico-chimici. Toglie qualcosa allo splendore di questa vittoria filosofica il fatto che il meccanicista riduzionista integrale non esiste: egli è una sorta di diavolo profano inventato da filosofi naturali di non eccelso vigore intellettuale che si concedono quest'opportunità per trarre qualche vantaggio dai loro esorcismi.

Gli olisti credono che i meccanicisti studino le parti di un organismo l'una isolatamente dall'altra e non le comprendano quindi mai a fondo. Nessuna accusa rivela in modo più chiaro l'ingenuità degli olisti e la loro inesperienza in questioni di biologia pratica, poiché lo studio di un organo «isolato» è in realtà impossibile. È vero che si può asportare da un organismo il cuore o un rene e farlo pompare o fargli compiere la dialisi fornendogli liquidi idonei simili al sangue, ma noi non studiamo cuore o rene isolatamente. La loro forma e il loro modo di funzionare sono quel che sono

proprio perché essi hanno fatto parte di un intero organismo e perché sono stati soggetti a influenze dell'intero organismo a partire dalla loro prima apparizione come rudimenti embrionali sino al prodotto funzionale finito. Non è possibile esaminarli «isolatamente». L'olismo deve parte della sua popolarità alla convinzione diffusa che esso sia un baluardo contro il riduzionismo. Comunque stiano le cose, il nostro giudizio sull'olismo dev'essere che, se non ha fatto progredire la nostra comprensione della biologia, non l'ha neppure impedita in misura significativa.

OMOLOGIA

Fra i concetti più importanti in biologia, l'omologia fu introdotta e differenziata dalla mera «analogia» per opera di un famoso sovrintendente del Dipartimento di Storia Naturale del British Museum, Richard Owen (1804-1892). Gli organi A, B e C di strutture geneticamente affini sono omologhi se lo sviluppo di uno di essi può essere interpretato come una modificazione o variante dello sviluppo di un altro, o se lo sviluppo di ciascuno dei tre può essere inteso come una variante distinta dello sviluppo di un precursore di tutt'e tre. Così, nonostante le differenze nei particolari strutturali, le pinne pettorali dei pesci, gli arti anteriori dei mammiferi terrestri, le ali degli uccelli e le ali dei pipistrelli sono altrettante strutture omologhe; lo sviluppo di ciascuna di esse è infatti una variante dello sviluppo dell'arto pentadattilo tipico dei vertebrati. Le ali degli uccelli e quelle degli insetti sono invece semplicemente analoghe, avendo origine e sviluppo totalmente diversi ed essendo connesse solo dall'identità della funzione: il volo. L'omologia è il concetto centrale su cui si fonda l'anatomia comparata.

ORDINE IN BIOLOGIA

Se ci trovassimo di fronte a un oggetto non familiare, fosse esso di dimensioni microscopiche o macroscopiche, e ci chiedessimo se si tratta di un organismo vivente o dei resti di un organismo, dovremmo fondare quasi certamente la risposta sul grado e sul tipo d'ordine riscontrati nell'oggetto in esame. L'ordine è infatti evidente dappertutto: nella figura definita e nelle simmetrie distintive di un organismo; nell'ordinamento cristallino dei cromosomi, dei

virus e di molti componenti delle cellule; nelle molecole polimeriche giganti che sono un componente così abbondante degli organismi; e nei prodotti dell'attività di organismi, come favi di api, tele di ragno e i vari tipi di «case» o nidi costruiti dai vari organismi. L'ordine permea l'intera biologia.

Un sistema presenta dell'ordine quando le sue parti componenti non sono ammassate a caso, ma manifestano solo una o poche fra le configurazioni possibili dei loro elementi nello spazio e nel tempo. Considerata in questo modo, ogni configurazione data può essere concepita come improbabile, il grado di improbabilità essendo chiaramente connesso al numero di configurazioni possibili. Questa riflessione ci dà un'idea, almeno a livello intuitivo, della connessione esistente fra ordine, disordine e probabilità. Nessuna generalizzazione nella scienza fisica è stabilita più saldamente di quella che dice che la direzione del flusso degli eventi nell'universo va sempre dal meno probabile al più probabile – ossia sempre verso la casualità e la «mescolanza» –, verso l'equipartizione nell'universo di ciò che in principio era separato e diviso in modo non uniforme.

Con ciò, come capì per primo Lord Kelvin, va di pari passo una perdita progressiva della capacità di usare il calore presente nell'universo per l'esecuzione di lavoro meccanico. Benché la quantità totale di energia termica nell'universo rimanga costante, essa è «irrevocabilmente perduta per l'uomo» e perciò «dissipata», anche se non «*annichilata*», poiché l'esecuzione di lavoro meccanico per mezzo di energia termica dipende dall'esistenza nel sistema di disuguaglianze, che vengono progressivamente eliminate in un vasto e universale livellamento.

Nella formulazione di Ludwig Boltzmann, il rapporto fra entropia S e ordine è dato dall'espressione $S = k \log W$, dove k è la costante universale di Boltzmann e W la probabilità della configurazione dominante del sistema. Là dove la probabilità di una configurazione data è l'unità, non c'è alcuna possibilità di configurazioni alternative. In tali circostanze l'entropia del sistema è ovviamente zero (ricordando che $\log 1 = 0$). È questo il caso di un cristallo perfettamente puro a 0 °K (zero assoluto), temperatura alla quale il moto termico è inesistente.

Il rapporto fra informazione e ordine è reso intuitivamente chiaro se si osserva che l'informazione comprende, esprime e spes-

so specifica un ordine. Ogni informazione viene infatti impartita quasi sempre nella forma di una configurazione lineare di simboli, la cui specificità dipende dal modo in cui tali simboli sono ordinati. Consideriamo, per esempio, gli anagrammi *orti*, *irto*, *otri*, *rito*, *tori*, *tiro*: sei parole differenti che sono tali in ragione del diverso ordine dei simboli alfabetici da cui sono composte. Un comune messaggio come quello contenuto in un telegramma cesserebbe di trasmettere informazione se i suoi elementi venissero mischiati a caso, come talvolta accade appunto nei telegrammi. È chiaro che informazione e disordine sono antitetici, e l'informazione può quindi essere definita e misurata quantitativamente come entropia negativa. Si dice che un cromosoma o un disegno di un architetto contengono entropia perché possono essere concepiti entrambi come un insieme di istruzioni per imporre o generare un ordine. Erwin Schrödinger (1887-1961) fu uno fra i primi fisici a dare contributi significativi alla biologia. Nel piccolo saggio, molto illuminante, *What is Life?* (Cambridge 1944),* Schrödinger fu il primo a formulare l'ipotesi che i fenomeni della trasmissione ereditaria potessero dipendere da un *messaggio* in codice trasmesso da una generazione all'altra, e che il messaggio fosse racchiuso nei cromosomi, considerati cristalli aperiodici, di struttura tale da rimanere relativamente isolata rispetto agli effetti disordinanti del moto termico. Vedi la voce NUCLEICI, ACIDI.

Gli esseri viventi aggirano o violano la seconda legge della termodinamica? La famosa massima di Rudolf Clausius che l'entropia di un sistema chiuso tende sempre a un valore massimo vale per gli organismi viventi come per il mondo fisico. È nondimeno più che naturale che la pervasività e onnipresenza dell'ordine nei sistemi biologici abbiano suscitato l'impressione che un carattere distintivo e di importanza cruciale degli esseri viventi sia la capacità di sottrarsi all'imperio della seconda legge. Questo punto di vista è però erroneo, ed è una conseguenza dell'incapacità di rendersi conto che la legge si applica solo a sistemi *chiusi*, ossia a sistemi che non abbiano scambi di materia o di energia con l'esterno. In un sistema chiuso, all'aumento di ordine in un luogo corrisponde un aumento di disordine altrove, come avviene per esempio in un frigorifero domestico, il cui raffreddamento dev'essere

* Trad. it. *Che cos'è la vita*, Sansoni, Firenze 1947.

pagato con una produzione di calore nelle pompe che comprime il gas refrigerante e lo fanno circolare, così che esso possa «espellere» il suo calore in eccesso nell'ambiente. Un organismo vivente, disse Schrödinger, «beve ordine dall'ambiente»; egli si riferiva alla continua degradazione di molecole nel corso del metabolismo, che paga il conto alla termodinamica per la produzione di complessità, normalmente di ordine superiore. È nondimeno giusto dire, come ha fatto più di una volta Aharon Katchalsky: «La vita è una lotta costante contro la tendenza a produrre entropia. Non esistendo alcuna possibilità di sottrarsi al fato entropico impostoci dalla seconda legge della termodinamica, gli organismi viventi scelgono il male minore: producono entropia a un ritmo minimo mantenendo uno stato stazionario».

La produzione di una molecola simmetrica, o di una struttura come una ragnatela, con i suoi caratteri di simmetria, conduce a una perdita di entropia minore di quella comportata dalla produzione di una struttura asimmetrica. Il costo termodinamico della simmetria è però molto piccolo. La perdita di entropia implicata nella tessitura di una ragnatela non è, a causa della simmetria, significativamente più grande di quella associata all'ossidazione di molecole di zuccheri per compensare lo sforzo fisico della tessitura (a meno che, ovviamente, il ragno facesse più lavoro per tessere una tela simmetrica piuttosto che una disordinata o casuale).

Robin Valentine attirasse una volta la nostra attenzione su un esempio sorprendente della misura in cui certi mutamenti d'ordine sono del tutto insensibili. Egli citò la formazione del virus del mosaico del tabacco a partire dalle sue subunità. Questo virus è un cristallo altamente ordinato, e la sua formazione deve condurre a una perdita di entropia; si deve avere perciò un aumento dell'entropia altrove. Ci attenderemmo quindi un aumento della temperatura nel solvente, mentre in realtà il solvente si raffredda. Questo fenomeno, ci disse Valentine, si deve al fatto che le superfici delle subunità del virus sono idrofobe e perciò inducono ordine nell'acqua da cui sono circondate. Quando le unità si aggregano, le loro superfici idrofobe si invaginano, causando una maggiore disorganizzazione nel solvente; questa è maggiore dell'ordine creato nel virus. In questo caso, quindi, la seconda legge favorisce in realtà la creazione di un virus ben ordinato.

James Clerk Maxwell (1839-1871) considerò una situazione in

cui la seconda legge della termodinamica poteva essere aggirata da un essere dotato di intelligenza e di un alto grado di percettività. Supponiamo, disse Maxwell, che un recipiente sia diviso in due parti A e B da un tramezzo in cui sia presente una piccola apertura. Un osservatore in grado di vedere le singole molecole apre e chiude la porticina in modo da consentire alle molecole più veloci di passare da A a B e a quelle più lente di passare da B ad A. Senza dispendio di lavoro egli otterrebbe così di far aumentare la temperatura di B e di far diminuire quella di A, in contraddizione con la seconda legge della termodinamica. Il «demone» di Maxwell, come fu chiamato, evidenzia la nozione che l'informazione è entropia negativa.

ORDINI DI GRANDEZZA

In biologia ci si imbatte più spesso in quantità molto piccole che in quantità molto grandi, e la tabella che segue servirà a ricordare la terminologia usata per gli ordini di grandezza.

<i>Nome di frazione</i>		<i>Parte di un metro</i>	<i>Ordine di grandezza (potenza di 10)</i>
Metro	(m)	Unità	0
Decimetro	(dm)	Decimo	-1
Centimetro	(cm)	Centesimo	-2
Millimetro	(mm)	Millesimo	-3
Micrometro	(μm)	Millionesimo	-6
Nanometro	(nm)	Miliardesimo	-9
Picometro	(pm)	Bilionesimo	-12

Dobbiamo ricordare inoltre che una designazione come 10^{-3} sta per $1/10^3$, ossia per un millesimo, e che per convenzione $10^0 = 1$.

Una terminologia corrispondente si applica in gravimetria, in cui l'unità è un grammo: abbiamo così milligrammo (mg), microgrammo (μg), nanogrammo (ng), picogrammo (pg) e via dicendo. In volumetria, l'unità di volume è un litro: un millilitro corrispon-

de esattamente a un centimetro cubo, e un microlitro a un millimetro cubo.

Mentre per quantità inferiori all'unità si usano prefissi latini, per quantità superiori si usano prefissi greci: così *deca-*, *etto-*, *kilo-* e *mega-* significano i multipli 10, 100, 1000 e 1000 000. Negli scritti scientifici i numeri molto grandi o molto piccoli sono espressi quasi sempre come potenze, positive o negative, del 10. Gli ordini di grandezza delle quantità citate sopra sono quindi, rispettivamente, (+) 1, 2, 3 e 6.

ORIGINE DELLA VITA

Gli scienziati che non credono né nei miracoli né nella generazione spontanea si sono sentiti naturalmente in obbligo di spiegare in che modo i sistemi viventi possano avere avuto origine nelle condizioni vigenti sulla superficie della Terra primitiva a partire da precursori inorganici, la cui esistenza anteriore veniva data senza difficoltà per scontata. Così l'investigazione dell'origine della vita ha finito col trasformarsi in una piccola industria di ricerca che alcuni scienziati e spettatori considerano importante, stimolante e di grande interesse. È però giusto dire che ce ne sono altri che considerano l'intero argomento una noia infinita. Essi sono in buona compagnia: da una lettera di Charles Darwin a Sir Joseph Hooker sappiamo che il padre dell'evoluzionismo era uno di loro; un altro è probabilmente Erwin Chargaff, anche se non lo dice espressamente.

Le ricerche sull'origine della vita non hanno un'importanza vitale nel senso che il progresso del sapere dipenda in qualche misura dal loro successo. Gli esperimenti hanno dimostrato che l'esposizione di anidride carbonica e acqua a ioni elio a 40 milioni di elettronvolt prodotti da un ciclotrone di 150 cm può condurre alla formazione di piccole quantità di formaldeide, la quale scomparirebbe certamente molto presto nelle condizioni ossidanti vigenti oggi sulla Terra (anche se, forse, non altrettanto rapidamente nell'atmosfera riducente postulata da Aleksandr Oparin per la Terra primitiva). In altri esperimenti, nei quali ha avuto una parte importante Harold Urey, miscugli d'acqua, metano e ammoniacca esposti a scariche elettriche, a radiazione ultravioletta e ad altre sorgenti di energia possono produrre formaldeide, acido cianidri-

co e, attraverso reazioni secondarie, persino amminoacidi e purine, ingredienti essenziali rispettivamente di molecole di proteine e di acidi nucleici.

Di tanto in tanto è stato sostenuto che certe meteoriti contengano molecole organiche, come idrocarburi e persino amminoacidi, ma le possibilità che esse siano state contaminate da sostanze organiche dopo il loro ingresso nell'ambiente terrestre sono così grandi che queste asserzioni sono state accolte con estrema cautela.

È superfluo dire che queste scoperte rappresentano solo una soluzione parziale al problema, e neppure la più importante. Una teoria adeguata, oltre a spiegare il semplice montaggio delle materie prime che formano le molecole biologiche, deve postulare qualche mezzo grazie al quale esse possano reclutare altre molecole e accrescere la propria sostanza, un processo che dipende presumibilmente dalla formazione di una membrana e di una struttura simile a quella di una cellula primitiva.

Gli esperimenti attuali non si spingono molto lontano, ma hanno fissato un punto di importanza filosofica considerevole: l'origine della vita da sostanze precorritrici inorganiche può essere stata improbabile in sommo grado, ma il fenomeno non è *inconcepibile*. Per quanto vaga possa essere, una prima concezione di come la vita potrebbe avere avuto origine è una condizione necessaria per futuri progressi; in assenza di essa non si potrebbe progredire.

ORNITOLOGIA

In parte scienza e in parte storia naturale, l'ornitologia deve la sua grandissima popolarità come scienza e come ricreazione scientifica a una semplice circostanza di cui a volte ci dimentichiamo quando consideriamo vari tipi di animali come possibili oggetti di uno studio informale: gli uccelli sono animali diurni, mentre altri, non meno interessanti – per esempio i topi – sono creature notturne. A prescindere dalle abitudini diurne degli uccelli (che sono un forte elemento a loro favore, facilitandone l'osservazione), la loro bellezza e le loro molte abitudini interessanti spiegano il numero grandissimo di appassionati, così come la reazione negativa di biologi di laboratorio impazienti e male informati che vorrebbero rifiutare l'ornitologia alla stregua di una semplice attività di osser-

vazione (*bird-watching*): giudizio assurdamente ingiusto che ignora i numerosi contributi di grandissima importanza dati dall'ornitologia alla biologia generale.

Un biologo di professione non avrebbe alcuna difficoltà a snocciolare un elenco di contributi di rilievo dati dall'ornitologia alla scienza biologica generale. Egli potrebbe citare, per esempio, le ricerche di Ernst Mayr sull'evoluzione e sul meccanismo della speciazione, o quelle di M.R. Irwin sul comportamento immunologico di specie di columbidi (piccioni e colombe) e di loro ibridi. Gli studi di David Lack sulla mortalità in popolazioni selvatiche di uccelli sono le tavole di sopravvivenza più illuminanti per gli animali selvatici e per la demografia animale in generale. Il contributo più importante è però forse quello che l'ornitologia ha dato allo studio del comportamento animale, a cominciare dalla ricerca classica di Julian Huxley sulle abitudini di corteggiamento dello svasso maggiore per arrivare sino agli studi di Niko Tinbergen sul comportamento dei gabbiani reali. Nella compilazione di una tale distinta di crediti non si dovrebbe inoltre dimenticare che, grazie all'abbondanza di uova da loro deposte, uova che si possono facilmente incubare e far schiudere, lo studio degli uccelli ha dato un grandissimo contributo alla nostra comprensione dei processi di sviluppo delle cure parentali.

PARTENOGENESI

Variante della riproduzione sessuale, la partenogenesi è il processo in virtù del quale un uovo si sviluppa senza essere fecondato dallo spermio. La prole può a volte essere aploide, ma normalmente ha un numero di cromosomi diploide. La partenogenesi rappresenta la norma in alcuni animali, come i rotiferi e gli afidi.

A quanto sappiamo il fenomeno non si verifica in esseri umani, ed è bene ricordare alle giovani signore che c'è un test che consente di verificare la fondatezza dell'asserzione che un figlio (una figlia) sia nato di parto virginal: in circostanze normali un trapianto di pelle dalla figlia alla madre sarà rigettato dalla madre nello stesso modo in cui viene rigettato un omotrapianto, mentre un trapianto di pelle prelevata da una figlia di origine partenogenetica non sarebbe rigettato non contenendo alcun gene, e quindi neppure alcun antigene, che non sia presente anche nella madre. Quando questo test fu applicato a una donna la cui affermazione di aver procreato senza il concorso dell'uomo era sostenuta da un rotocalco inglese, il trapianto fu debitamente rigettato: esito da cui i giornalisti del rotocalco inferirono che il test non fosse probante.

La «partenogenesi artificiale» è l'inizio della divisione cellulare in un uovo non fecondato, per esempio di un tritone o di un riccio di mare, indotto da uno stimolo artificiale, come una puntura o uno shock osmotico.

PILTDOWN, CRANIO DI

Fra il 1908 e il 1912 vari resti di presunta origine umana furono scoperti da Charles Dawson e colleghi in una cava di ghiaia a Pilt-

down, nel Sussex, in Inghilterra. Ad essi erano associati un certo numero di manufatti – utensili di selce e d'osso – e vari avanzi fossili che consentirono di datare i reperti all'inizio del Paleocene.

Questi reperti ricevettero una dignità scientifica sancita dal nome specifico di *Eoanthropus dawsoni* (definito «uomo aurorale» da Sir Arthur Smith Woodward nel libro *Earliest Englishman*, edito nel 1948). I reperti erano stranamente anomali: mentre il cranio era alto e inconfondibilmente umano, la mandibola presentava caratteri chiaramente scimmieschi. L'anomalia fu risolta solo quando due antropologi fisici britannici, col sostegno morale di un famoso anatomico, dichiararono che il cranio era una frode: per fingerne una grande antichità le ossa erano state immerse in sali di cromo, e per simulare il logorio i denti erano stati limati. In seguito divenne chiaro che i resti fossili associati al cranio erano stati sepolti deliberatamente nel terreno per dare una patina di antichità alla scoperta.

Non ci sono prove conclusive per incriminare nessuno, anche se tutti i principali personaggi coinvolti nella scoperta sono passibili di sospetto, non escluso Pierre Teilhard de Chardin, uno fra gli assistenti di Dawson. In anni molto posteriori Teilhard fu autore di un libro, *Le phénomène humain* [Éd. du Seuil, Paris 1955],* del tipo che gli scienziati del Seicento avrebbero definito spregiativamente un «romanzo filosofico». A meno che non salti fuori una confessione del vero colpevole, è probabile che non si sappia mai la realtà vera. In ogni caso il termine «burla», usato spesso per descrivere quest'episodio, è inopportunosamente eufemistico; questo fu un vero crimine, eseguito con ogni cura, nell'intenzione di ingannare.

POIESI

Suffisso familiare in biologia, *-poiesi* deriva dal greco *poiesis*, che significa «produzione», «creazione», «il fare» (dalla stessa radice deriva la parola «poesia»). Le attività designate con le parole eritropoiesi, linfopoiesi e simili si riferiscono alla produzione di globuli rossi del sangue, linfociti e via dicendo. Quanto alla poesia, è chiaro che quando Percy Bysshe Shelley, in *Defence of Poetry*,

* Trad. it. *Il fenomeno umano*, Il Saggiatore, Milano 1968.

disse che «la poesia comprende ogni scienza», intendeva dire che l'atto di creazione implicito nella composizione poetica è essenzialmente affine all'attività immaginativa che è all'origine di tutte le idee scientifiche.

POPOLAZIONE, AUMENTO E CONTROLLO DELLA

L'aumento in numero di popolazioni biologiche illustra un carattere importante e forse intrinseco della crescita biologica: *ciò che si forma per mezzo di un accrescimento è capace di per sé di ulteriore accrescimento*. Questo è il carattere distintivo dell'accrescimento in virtù di un interesse composto continuo: se infatti si considera il numero iniziale come il capitale e gli altri membri della popolazione che si sono formati per mezzo della crescita come l'interesse, è chiaro che l'interesse si aggiunge al capitale e comincia a produrre interesse esso stesso. Una crescita di questo genere è spesso designata come crescita esponenziale o logaritmica.

Il senso di questa nomenclatura risulta immediatamente chiaro se consideriamo il caso semplice di una popolazione di organismi ciascun membro della quale si divida in due in ciascuna unità di tempo, l'ammontare della popolazione in ogni unità di tempo sarà quale è illustrata nella tabella qui sotto. I logaritmi nell'ultima riga sono necessariamente uguali agli esponenti nella penultima riga, essendo tali logaritmi in base 2, ed essendo il logaritmo la potenza a cui il 2 dev'essere elevato per dare il numero di organismi che compongono la popolazione.

Unità di tempo	0	1	2	3	4	5	10
Numero di individui	1	2	4	8	16	32	1024
Formulazione esponenziale	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^{10}
Logaritmo in base 2	0	1	2	3	4	5	10

Si può vedere facilmente che, se si traccia un grafico del logaritmo del numero di individui di una popolazione in funzione del tempo trascorso, i punti cadranno lungo una linea retta, mentre se segnassimo il numero degli individui in funzione del tempo i punti si disporrebbero lungo curve che salgono rapidamente verso l'alto, come fanno le curve esponenziali.

Nessuna popolazione reale potrebbe avere una crescita esponenziale per molto tempo: nella vita reale l'incremento demografico è sempre limitato dall'azione di uno o più fattori *dipendenti dalla densità*, che di solito sono in rapporto con lo spazio vitale, l'insufficienza della nutrizione, l'accumulo di prodotti di rifiuto tossici, lo stress associato a sovraffollamento e così via. È quindi una semplice figura retorica dire che gli esseri umani possono diventare così numerosi da occupare l'intera superficie del globo spalla a spalla, o addirittura su due piani; non è invece una figura retorica dire che i fattori dipendenti dalla densità che agiranno con maggiore probabilità su popolazioni umane saranno carestie ed epidemie di una gravità inimmaginabile.

Gli ultimi cent'anni sono stati caratterizzati dal parziale annullamento di alcuni fra i più importanti fattori dipendenti dalla densità che agiscono su popolazioni umane. Grazie agli sforzi di medici e ingegneri sanitari, abbiamo conseguito una misura di *controllo della mortalità* che non è stato purtroppo controbilanciato dal grado di *controllo delle nascite* necessario per mantenere la popolazione umana entro limiti ragionevoli. L'esplosione demografica è la conseguenza ben nota e spaventosa di questa situazione, e un esempio clamoroso dell'imprevedibilità dei mali che possono conseguire alla crescita della scienza.

L'urgenza del problema demografico indusse molti politici e personaggi eminenti a invocare la stabilizzazione delle popolazioni umane. Questa è un'impresa che sembra realizzabile, ma in realtà saremmo molto fortunati se essa fosse così facile come andare sulla Luna. Una popolazione può stabilizzarsi solo quando regimi appropriati di natalità e di mortalità abbiano operato abbastanza a lungo da farle acquisire una distribuzione per età stabile, dopo di che essa continuerà a riprodursi secondo lo stesso modello. Nessuna popolazione umana ha mai conseguito questo stato stabile, e a nostro parere è improbabile che venga un tempo in cui non dovremo più preoccuparci alternativamente per l'eventualità di un declino precipitoso della popolazione umana e per quella di una sua crescita sino a raggiungere dimensioni politicamente ed economicamente incontrollabili.

Un tempo godette di un certo favore, specialmente negli Stati Uniti, l'idea che, se tutte le coppie si limitassero ad avere due figli, sarebbe conseguito l'obiettivo della stabilità numerica. «Questa

proposta», è stato osservato, «ha quell'apparenza di giustezza intuitiva che è quasi invariabilmente un sintomo di un qualche errore di ragionamento.» L'errore consiste nel non prendere in considerazione due elementi importanti come la mortalità o la sterilità. Una famiglia media con due figli sarebbe una ricetta sicura per un declino catastrofico della popolazione come quello che i demografi temevano negli anni trenta.

Consideriamo le difficoltà che si troverebbe a dover affrontare un ipotetico Ministro per il Controllo della Popolazione: in primo luogo dovrebbe provvedere alla scoperta di metodi migliori di controllo delle nascite, tenuto conto della cospirazione naturale a favore delle nascite (alla quale noi dobbiamo la nostra presenza qui sulla Terra); tali metodi dovrebbero inoltre essere messi a disposizione di popolazioni che non ne conoscono l'uso e potrebbero anche non volerlo imparare: e già questa sarebbe una grandissima impresa politica, religiosa e pedagogica. In una società libera, in cui non si può chiedere a nessuno o di dar figli alla patria o di astenersi dal mettere al mondo altre bocche da sfamare, il Ministro della Popolazione dovrebbe fare del suo meglio usando come unici strumenti il fisco e l'educazione: allettando col denaro, blandendo, ricorrendo alla persuasione o chiedendo alla gente di avere un numero maggiore o minore di figli a seconda delle richieste specifiche della situazione.

PRIMATI

Il termine *Primates* fu introdotto da Linneo per significare l'insieme delle scimmie cinomorfe, delle scimmie antropomorfe e degli esseri umani. Linneo assegnò ai primati il primo posto fra gli animali, mettendo al secondo posto gli altri mammiferi, che designò appropriatamente come *Secundates*. Tutti gli altri animali appartenevano al terzo rango, quello dei *Tertiates*. (Siamo venuti a conoscenza di questa distinzione linneana fra primati, secondati e terziati dal libro di J.Z. Young *Life of Vertebrates*, Oxford 1962².)

I primati sono un ordine della classe dei mammiferi: essi sono tipicamente animali arboricoli dagli arti lunghi, con molti adattamenti associati alle abitudini arboree e al movimento per brachiazione. Fra questi adattamenti sono l'alluce opponibile con funzio-

ni simili a quelle del pollice, la prevalenza della facoltà visiva e la visione binoculare con occhi rivolti in avanti: un carattere che dà per la prima volta a questi animali una «faccia».

I primati discendono da un ceppo di insettivori, probabilmente da animali molto simili a toporagni arborei. Stranamente, però, la faccia dei primati è alla base di una distinzione tassonomica: i primati dal setto nasale stretto sono catarrini e comprendono le scimmie cinomorfe del Vecchio Mondo, le scimmie antropomorfe e l'uomo. Quelli con setto nasale largo e faccia piatta sono le scimmie cinomorfe del Nuovo Mondo, i platirrini.

Fu sicuramente la loro somiglianza con l'uomo e con gli animali più prossimi all'uomo (gli antropomorfi) a indurre Linneo a designare i primati come i primi fra gli animali. Nello stesso spirito noi dovremmo designare gli esseri umani come i primi fra i primati, un rango che potrebbe esser negato solo in conseguenza di una cattiva capacità di giudizio o di uno scetticismo tipicamente adolescenziale.

Fra i caratteri più umani delle grandi scimmie antropomorfe (e specialmente degli scimpanzé) ci sono, come ha osservato Jane Goodall, gli inizi di un'eredità esogenetica: il trasferimento di informazione da una generazione a un'altra attraverso canali non genetici. Questo è il carattere stesso cui gli esseri umani devono la loro posizione di primi fra i primati.

PROTEINE

Nella voce NUCLEICI, ACIDI, abbiamo detto che la funzione essenziale degli acidi nucleici è quella di vettori dell'informazione genetica nella comunicazione fra una generazione e l'altra e fra nucleo e citoplasma.

La barocca profusione di tipi di proteine diversi e la molteplicità delle loro funzioni è tale che su di esse non è possibile formulare asserzioni altrettanto semplici: l'elemento contrattile delle proteine delle fibre muscolari è responsabile di tutti i movimenti muscolari, nella locomozione come nel lavoro del cuore e dei visceri; come enzimi, le proteine hanno parte in quasi tutti gli scambi metabolici del corpo. Esse sono i principali componenti strutturali delle cellule; sono responsabili della coagulazione del sangue e della linfa; e come fibre di tessuti connettivi (collagene, elastina)

impediscono all'organismo nella sua totalità di disintegrarsi.

Le proteine sono grandi molecole «polimeriche», ossia costruite per mezzo della ripetizione di blocchi unitari o «monomeri». Questi monomeri sono gli amminoacidi, esistenti in una ventina di tipi diversi, ciascuno dei quali è codificato da una tripletta di *nucleotidi* nella molecola di acido nucleico che ne specifica il montaggio in un ordine particolare. La struttura primaria delle proteine è data dall'ordine lineare degli amminoacidi lungo la catena di carbonio in cui una molecola proteica potrebbe in teoria essere sbrogliata. Una struttura secondaria della proteina specifica il tipo di ramificazione, e la struttura terziaria il modello della sua pieghettatura nelle tre dimensioni. Oggi si conosce la completa struttura tridimensionale della mioglobina e della capsula proteica dell'adenovirus 12: due splendide imprese analitiche.

Le proteine hanno dimensioni abbastanza varie da fare della centrifugazione un metodo efficace per separarle. Avendo una carica elettrica netta positiva o negativa, esse migrano lentamente in campi elettrici, cosicché per separarle si può anche far ricorso all'elettroforesi.

Di solito le proteine sono solubili in acqua, ma non lo è la proteina cheratina, che è il principale componente di capelli e peli, unghie e artigli e che forma lo strato più esterno della pelle. Le proteine solubili in acqua cessano di esserlo quando sono denaturate dal calore o dall'azione dei sali di metalli pesanti. Fra gli esempi naturali di proteine denaturate sono l'albume di uova sode e la pellicola che si forma sul latte molto caldo lasciato a riposo. Un processo affine alla denaturazione si verifica quando la proteina solubile in acqua *fibrinogeno* è convertita da enzimi nella fibra insolubile *fibrina*, che è la base strutturale di un coagulo di sangue o di linfa.

Le proteine, inoltre, sono tipicamente antigeni. Le loro proprietà immunologiche possono essere usate per distinguerle in un modo molto più sensibile e discriminante di quanto non sia possibile con qualsiasi altro procedimento fisico-chimico.

Le proteine sono ricche di nutrimento e, sotto forma di muscolo scheletrico – la forma più pregiata come cibo –, sono normalmente associate a una quantità di grasso tale da far ritenere illusoria la convinzione che le «bistecche», lungi dall'ingrassare, siano particolarmente appropriate a una dieta dimagrante.

PROTOPLASMA

Più di mezzo secolo fa il biologo e logico matematico Joseph Woodger scrisse: «I biologi si esprimono con sicurezza come se in natura esistesse una sostanza chiamata “protoplasma”. Quando però esaminiamo a fondo il problema non pare esista alcuna giustificazione per questa credenza» (*Biological Principles*, London 1929, p. 293). Inaspettatamente, il moderno uso pratico era stato anticipato dal vitalista Hans Driesch: «Protoplasma è semplicemente una parola per designare ciò che non è il nucleo».

Altrove abbiamo sottolineato che oggi nella vita reale la parola viene usata solo come termine generale per designare la fase colloidale dei contenuti cellulari, ma in passato, quando si credeva che esistesse una sostanza particolare cui si potesse riferire in modo appropriato il termine «protoplasma», ci furono molte discussioni sulla sua struttura fine. C'erano una teoria granulare, una teoria reticolare e in effetti altrettante teorie quanti erano i fissativi usati per indurire i tessuti nelle preparazioni per l'osservazione microscopica. Tali fissativi contengono infatti quasi invariabilmente coagulanti di proteine, e furono le diverse modalità di precipitazione delle proteine a dare origine alle diverse teorie della struttura protoplasmatica. Thomas Henry Huxley non aveva alcun dubbio sulla realtà fisica del protoplasma: «Ho tradotto col termine protoplasma, che è il nome scientifico della sostanza..., le parole “base fisica della vita”» («Fortnightly Review», 1 febbraio 1869). Il protoplasma era una sorta di etere della filosofia naturale: come si pensava che l'etere permeasse tutte le strutture materiali nel mondo e agisse come mezzo di propagazione delle onde elettromagnetiche, così si riteneva che la sostanza vivente protoplasma permeasse strutture altrimenti inanimate dando loro la vita.

L'influenza dell'idea di protoplasma, corroborata da quella di una grande catena dell'essere, indusse Ernst Haeckel a sospettare l'esistenza di organismi molto primitivi formati solo da «protoplasma nudo», ovvero di *Urschleim*, muco primordiale. Haeckel sostenne di aver trovato tali organismi, che chiamò *Monera*. Per non essere sopravanzato dalla scienza tedesca, che era a quel tempo alquanto competitiva, Huxley descrisse nel «Quarterly Journal of Microscopical Science» un esemplare di monera recuperato con una draga dalle profondità dell'Atlantico Settentrionale, monera

che battezzò *Bathybius haeckeli* in segno di rispetto per il dotto zoologo di Jena. Oggi la parola «protoplasma» sta cadendo in disuso, sorte che non le sarebbe senza dubbio toccata se avesse assolto una qualsiasi funzione utile, anche solo come prima approssimazione alla realtà.

L'abbandono del concetto di protoplasma conseguì alla lenta presa di coscienza del fatto che i processi vitali hanno una base *strutturale* più che colloidale: persino la famosa dichiarazione di Frederick Gowland Hopkins secondo cui la vita sarebbe una manifestazione di un complesso equilibrio dinamico in un sistema polifasico non sembra aver più molto peso. I primissimi tentativi di cristallografia ai raggi X di componenti corporei, combinati con la microscopia elettronica, chiarirono ben presto che l'ordine delle cellule viventi e dei loro prodotti è essenzialmente un ordine solido o cristallino, e che i piccoli organelli contenuti nella cellula sono minuscoli corpi «solidi» e solo le loro dimensioni ci impediscono di prenderli e maneggiarli. Così le specificità del metabolismo nel tempo e nello spazio – del perché gli eventi metabolici accadano qui e non là, ora e non poi – hanno un fondamento strutturale, qualcosa di molto lontano dal muco primordiale.

PROTOZOI

Quella parte del pubblico dei profani che sa che la formula H_2O designa una molecola d'acqua, sa anche che «l'ameba» è un organismo vivente elementare e molto primitivo: «una mera goccia di protoplasma» è il cliché abituale. L'ameba è in effetti un protozoo, ed è molto piccola. Gli scolari desiderosi di far buona impressione sui loro insegnanti o esaminatori dovrebbero guardarsi dal fare osservazioni come «Se si punge un'ameba con uno spillo...». Parole come queste rivelano subito una totale mancanza di comprensione di quanto siano piccole le amebe e di quanto siano grandi, relativamente parlando, gli spilli.

Considerati collettivamente, i protozoi vengono classificati come un *phylum*, e benché non si prestino a ricevere una precisa gerarchia tassonomica quale si applica agli animali pluricellulari, possono essere suddivisi utilmente e naturalmente in un certo numero di classi, che si distinguono soprattutto per i loro modi di locomozione.

Altrove abbiamo accennato al non-problema quasi-filosofico se i singoli protozoi debbano essere descritti come non-cellulari o come singole cellule. Dalla risoluzione di questo problema, che non comporta molto di più di una sfumatura di significato, non dipende nulla: coloro che pensano alle cellule come a suddivisioni meccaniche o amministrative di un organismo tendono a considerare i protozoi non-cellulari perché non sono suddivisi in cellule, mentre coloro che considerano la cellula l'unità tettonica, e gli animali pluricellulari come colonie di cellule che godono di un alto grado di integrazione e di divisione del lavoro, tendono a vedere nei protozoi degli esseri unicellulari. Su una cosa, però, tutti gli zoologi concordano: i protozoi sono *organismi*, con tutto ciò che questo implica di totalità e grado di integrazione di parti, e anche di auto-riproduzione.

Una delle classi in cui i protozoi sono convenzionalmente suddivisi, quella degli sporozoi, è una congerie di forme principalmente parassitiche che non è facile far rientrare sotto i nomi di altre classi.

Molti protozoi sono parassiti ed è in effetti principalmente come agenti patogeni che essi si impongono con invadenza all'attenzione degli esseri umani. I tripanosomi che infettano i bovini, il *Trypanosoma brucei* e il *T. congolense*, non sono del tutto malefici; in un certo senso, infatti, essi tendono a proteggere la popolazione bovina residente, che è immune, contro la competizione per opera di animali immigranti o di bestiame importato da altre località.

I tripanosomi sono responsabili di due malattie umane molto gravi; la più nota è la malattia del sonno, che è causata dal *T. gambiense* o dal *T. rhodiense*. Veicolo dei tripanosomi, che possono invadere il cervello e il sistema nervoso centrale causando un'estrema letargia e sonnolenza (dove la denominazione di «encefalite letargica»), è notoriamente la mosca tse-tse. In Sudamerica il *T. cruzi* causa una malattia dalla sintomatologia assai varia, il morbo di Chagas, che invade il muscolo cardiaco e i gangli viscerali. Charles Darwin ne fu quasi certamente contagiato, ipotesi respinta con indignazione da vari medici per una varietà di ragioni dichiarate, le quali nascondono però quello che è secondo noi il motivo principale: un forte risentimento per il fatto che scienziati privi di titoli in campo medico abbiano osato tentare una diagnosi

medica. A ciò potrebbero aggiungersi il disagio e l'impressione ben fondata che il trattamento di Darwin per mano dei suoi propri medici (trattamento comprendente l'uso teoricamente ingiustificato di composti arsenicali e mercuriosi, per non menzionare trattamenti come l'«acqua curativa del dottor Gully») mostri la professione medica in una luce piuttosto sfavorevole. È divertente rilevare che l'opinione medica brasiliana ha invece accolto con grande favore l'ipotesi che Darwin sia stato vittima della tripanosomiasi sudamericana, come se l'aver egli sofferto di una malattia strettamente associata ai nomi di due illustri scienziati medici brasiliani (Carlos Chagas e Osvaldo Cruz) fosse motivo di un qualche orgoglio nazionale.

Le infezioni tripanosomiche rispondono a volte al trattamento con arsenicali organici, benché questi possano avere effetti collaterali piuttosto gravi. Protozoi parassiti sono responsabili anche della malaria, ma non della sifilide (le spirochete vengono da qualche tempo considerate batteri).

PTERODATTILI

I rettili si cimentarono nel volo due volte. Una linea genealogica – quella che condusse agli uccelli – è rappresentata da una forma intermedia come l'*Archæopteryx*; l'altra è rappresentata dai pterodattili. Benché il pteranodonte avesse un'apertura alare di più di sei metri, i pterodattili in generale erano piuttosto piccoli. La loro muscolatura, i cui elementi essenziali possono essere inferiti dalla struttura dello scheletro, era tale da darci la certezza che non potessero volare battendo le ali. È probabile che fossero dei planatori, dotati di una membrana alare sostenuta nella parte anteriore da un quarto dito della mano estremamente allungato. Non è stata ancora ricostruita appieno l'aerodinamica del loro volo per quanto concerne il decollo e l'atterraggio.

RACHISCHISI

La rachischisi o spina bifida è un'anormalità di sviluppo dell'asse embrionale, nella quale le pieghe neurali non si incontrano posteriormente sulla linea mediana posteriore, cosicché la chiusura del tubo neurale rimane incompleta. Ne consegue che la comunicazione fra il tubo neurale e l'intestino embrionale primitivo rimane aperta; un'ulteriore conseguenza è che in quest'area i rudimenti spinali non si incontrano nella linea mediana, conducendo a una condizione bifida di un tratto della spina.

L'anencefalia con spina bifida è una condizione così invalidante che molti medici mettono in discussione la saggezza di prendere misure estreme – e in alcuni paesi estremamente costose – per mantenere in vita i neonati che ne sono affetti. La rachischisi pone quindi, in forma acuta, i problemi estremamente penosi di una conservazione incondizionata della vita alla nascita. Questi problemi assumono forme talmente svariate nei diversi contesti in cui insorgono da far ritenere estremamente dubbio che una qualsiasi presa di posizione formale o un qualsiasi atto legislativo possano far fronte con giustizia a tutti i casi possibili.

RH, FATTORE

Se si inietta sangue di scimmie reso in conigli, il siero che si forma contiene anticorpi capaci di agglutinare i globuli rossi dell'85 per cento circa degli esseri umani. Questi soggetti sono detti Rh positivi (Rh +), mentre i restanti 15 per cento vengono descritti come Rh negativi (Rh-). In accordo con la nomenclatura degli altri antigeni del sangue, i vari fattori che compongono l'antigene Rh vengono designati di solito come C, D ed E, di cui il più importante

cl clinicamente è D. Mentre in una parte degli esseri umani si trovano naturalmente anticorpi agli antigeni del sangue A e B, gli anticorpi anti-Rh si formano solo in seguito a un'immunizzazione attiva (per esempio mediante trasfusione in individui Rh- di sangue che, pur essendo compatibile per altri antigeni importanti, contiene l'antigene Rh). Oppure possono formarsi anticorpi Rh quando una madre Rh- partorisce un certo numero di figli che abbiano ereditato l'antigene Rh dal padre. L'immunizzazione della madre può verificarsi durante il parto, per mezzo di infiltrazione di corpuscoli del sangue fetale nella circolazione materna. Quando si verifica questo caso sfortunato, gli anticorpi materni che entrano nel feto Rh+ possono causare un'estesa distruzione di emazie, cosa che provoca un'esplosione di attività proliferativa fra le cellule formatrici del sangue (eritroblastosi fetale).

La sensibilizzazione è molto meno frequente quando madre e figlio sono incompatibili in relazione ad antigeni del sistema A, B o O: la ragione risiede nel fatto che, se gli eritrociti del feto sono del gruppo A e quelli della madre del gruppo B o del gruppo O, essa ha anticorpi A già pronti che distruggeranno gli eritrociti fetali presenti nella sua circolazione prima che possano suscitare un'immunità anti-Rh. Si è pensato che quest'effetto protettivo possa fornire la pressione di selezione che conserva il polimorfismo A, B, O. Il vantaggio selettivo che mantiene in esistenza il polimorfismo Rh non è noto, a meno che non si tratti di un polimorfismo transeunte destinato infine a sparire.

RICAPITOLAZIONE

La legge di ricapitolazione di Ernst Haeckel dice che, nel corso dello sviluppo, un animale passa per fasi inconfondibilmente comparabili alle forme dei suoi presunti progenitori nell'evoluzione. Haeckel espose le sue idee sull'argomento nella quinta edizione dell'*Anthropogenie oder Entwicklungsgeschichte des Menschen*.* Come abbiamo già detto altrove, il senso della legge viene espresso a volte con la formula «l'ontogenesi ricapitola la filogenesi» o con la variante introdotta dagli studenti «un animale si arrampica sul proprio albero genealogico».

* Trad. ingl. *Evolution of Man*, London 1906.

Un mammifero inizia la sua vita nella forma di una singola cellula, l'uovo, che esteriormente si presenta come una macchiolina amorfa di «protoplasma» comparabile a un singolo protozoo. Nel corso dello sviluppo tutti i vertebrati passano per una metamorfosi che converte una sfera cava di cellule in una struttura a doppio strato quale potrebbe essere creata premendo la sfera verso l'Interno a un polo. In questo modo si forma una cosiddetta gastrula, la quale presenta una stretta affinità con animali essenzialmente a due strati, come molti polipi e idroidi. Infine si forma l'asse embrionale. In questa fase l'embrione è una struttura a simmetria bilaterale, ha testa ben definita con organi di senso appaiati, un sistema nervoso centrale dorsale e una colonna vertebrale dorsale mediana. Questa, sottolineò Haeckel, era essenzialmente la condizione della lancetta (anfiosso), nella quale viene riconosciuta universalmente una forma ancestrale dei cordati. Nel successivo sviluppo i vertebrati passano per una fase simile ai pesci, e la parte anteriore espansa del tubo digerente è perforata da strutture simili a fessure branchiali.

Haeckel credeva che non solo il soma ma anche la psiche obbedisse al principio di ricapitolazione. Nella citata *Anthropogenie* scrisse: «La mirabile vita spirituale di una razza umana si è evoluta passo passo nel corso di migliaia di anni dalla modesta vita psichica dei vertebrati inferiori, e lo sviluppo dell'anima di ogni bambino è solo una breve ripetizione di quel lungo e complesso processo filogenetico».

Uno fra i testi critici più importanti sulla ricapitolazione è *Embryos and Ancestors* di Gavin de Beer (Oxford 1958³). Sigmund Freud accettò acriticamente l'idea. In *Das Unbehagen in der Kultur* (1929),* tentando di giustificare la propria convinzione che la civiltà moderna sia vittima della nevrosi, Freud scrive: «Se l'evoluzione della civiltà è tanto simile a quella dell'individuo e se usa gli stessi mezzi, non saremmo giustificati nel fornire la diagnosi che alcune civiltà o epoche civili – forse l'intero genere umano – sono divenuti “nevrotici” per effetto del loro stesso sforzo di civiltà?»

La legge di ricapitolazione di Haeckel non è soddisfacente, ma,

* Trad. it. in *Il disagio della civiltà e altri saggi*, Boringhieri, Torino 1971, pp. 278-279.

come sottolineiamo nella voce **IPOTESI E TEORIA**, non si può sostenere recisamente che sia «sbagliata», in quanto include un elemento di verità così significativo da farci capire facilmente perché sia stata proposta.

L'elemento di verità è quello stesso che è incluso nella legge di von Baer, così chiamata in onore di Karl Ernst von Baer (1792-1876), l'eminente embriologo che riconobbe per primo l'uovo dei mammiferi. Quanto più torniamo all'indietro nello sviluppo, tanto più gli embrioni di animali affini sembrano assomigliarsi fra loro anatomicamente. Al procedere dello sviluppo il loro differenziamento diverge e gli embrioni diventano progressivamente diversi fra loro.

Si può vedere, quindi, quale sia il senso della legge di Haeckel; esseri umani e polli non hanno mai l'aspetto di pesci, ma nel loro sviluppo c'è una fase in cui i loro embrioni sono considerevolmente simili agli embrioni di pesci. La legge di von Baer implica che gli animali superiori ricapitolino in qualche modesta misura la storia embrionale – non le forme adulte – dei loro presunti progenitori, e questo è esattamente ciò che ci attenderemmo. La filogenesi può essere infatti solo una successione di ontogenesi, cosicché ciò che si evolve in una sequenza evoluzionistica è una sequenza di ontogenesi; può essere una necessità che si debba passare per la storia di sviluppo che dev'essere modificata per preparare la via a ogni successivo mutamento. Così, se lo sviluppo del braccio umano o dell'ala di un uccello è una modificazione evolutiva dello sviluppo di un arto pettorale di un pesce, non ci sorprende che lo sviluppo di un'ala debba passare per una fase simile a quella dello sviluppo di una pinna pettorale, ragionamento che si applica anche allo sviluppo del braccio umano. I vari fenomeni raggruppati assieme sotto la rubrica «ricapitolazione», e indicanti un'affinità fra lo sviluppo dei mammiferi e quello dei vertebrati inferiori (per esempio, la comparsa di fessure viscerali nello sviluppo di vertebrati superiori) parvero a Thomas Hunt Morgan la prova singola più convincente a favore dell'idea di evoluzione. Anche T.H. Huxley era della stessa opinione.

Nonostante la sua sostanziale misura di verità, però, la legge di ricapitolazione è andata sempre più perdendo credito, o piuttosto è stata assimilata in una legge di maggiore generalità, quella che associamo al nome di von Baer. Appena in tempo, perché, come

ha sottolineato Stephen Jay Gould nell'autorevole testo *Ontogeny and Phylogeny* (Cambridge, Massachusetts 1977), l'idea di ricapitolazione è stata usata da alcuni a sostegno della tesi dell'intrinseca inferiorità di certe razze che rappresenterebbero solo delle fasi di passaggio nell'evoluzione di un tipo superiore di essere umano, come quello rappresentato dallo stesso Haeckel.

RIDUZIONISMO

L'analisi riduttiva è lo stratagemma di ricerca più efficace che sia mai stato escogitato: ad esso si deve la formazione della scienza e della tecnologia. Il riduzionismo è la convinzione che un intero possa essere rappresentato come una funzione (in senso matematico) delle parti che lo compongono, funzione avente a che fare con l'ordinamento spaziale e temporale delle parti e col modo preciso in cui esse interagiscono.

Quest'impostazione è lontanissima dalla parodia che ne propongono, quasi sotto l'effetto di una coazione, certi filosofi della natura, e anche certi filosofi *tout court*, che per oscure ragioni psicologiche manifestano dell'ostilità nei confronti dell'intera idea di analisi. Alcuni non sopportano in effetti l'idea che sia possibile chiarire entità o situazioni che avrebbero altrimenti continuato a languire in uno squallore familiare, e perciò stesso non minaccioso, di incomprendimento. La parodia che essi fanno del riduzionismo si incarna nella dichiarazione che riduzionisti, meccanicisti e altri malfattori filosofici rappresentino l'intero come «una *mera* somma delle sue parti componenti». La somma è ovviamente un rapporto funzionale rispettabilissimo che potrebbe ben valere fra parti e che, in qualche caso, potrebbe fornire una descrizione completa: la *massa* di un tutto, per esempio, è la somma della massa delle sue parti componenti, e la pressione osmotica di un soluto è una funzione del numero di ioni e di molecole presenti nella soluzione. Neppure un olista oserebbe sostenere che un corpo composto ha una «vera» massa in contrapposizione a una «mera» massa, intendendo con la vera massa qualcosa di più della somma della massa delle parti. Eppure una volta si escogitò qualcosa di simile a un'assurdità come questa per spiegare come mai la combustione di un metallo, come il magnesio, conduca a un aumento di peso. Questo fenomeno era difficile da spiegare nell'ambito della teoria del flo-

gisto, secondo la quale nella combustione si doveva liberare flogisto (il flogisto, il principio essenziale del fuoco, era per la chimica inorganica grosso modo quel che l'entelechia di Hans Driesch era per la biologia). Fu proposta l'ipotesi che il flogisto pesasse meno che niente: non c'era quindi da stupirsi se la perdita di flogisto nella combustione di un metallo portava a un aumento di peso.

In biologia pochissime proprietà di sistemi composti possono essere rappresentate come funzioni meramente additive delle proprietà di parti componenti, e quelle che possono essere rappresentate in questo modo non sono certo fra le più interessanti. I rapporti funzionali che vigono fra le parti, e che devono essere accertati perché una descrizione possa dirsi completa, sono straordinariamente complessi e il loro chiarimento è proporzionalmente laborioso. L'intera impresa è in effetti così difficile e tediosa da potersi talvolta configurare come un'ambizione troppo estrema. Nella decima edizione del *System of Logic* (London 1843), John Stuart Mill scrisse sulla sociologia: «Le leggi dei fenomeni della società non sono e non possono essere altro che le leggi delle azioni e passioni di esseri umani raccolti assieme nello stato sociale... Gli esseri umani nella società non hanno altre leggi oltre a quelle che sono derivate dalle leggi della natura del singolo, e che possono risolversi in esse».

Una semplice parafrasi converte questa dichiarazione nella forma che era solita causare costernazione e risentimento fra i biologi «organismici»: «Le leggi delle proprietà e delle prestazioni degli organismi viventi non sono e non possono essere altro che le leggi delle prestazioni di cellule viventi raccolte assieme nello stato caratteristico di organismi viventi. Gli organismi viventi non hanno altre proprietà oltre a quelle che sono derivate dalle proprietà di singole cellule, e che possono risolversi in esse».

Il principio di riducibilità potrebbe ovviamente essere applicato anche uno o due passi più giù nella gerarchia, poiché le cellule possono essere risolte in molecole e, *mutatis mutandis*, si potrebbe dire sulle cellule gran parte di ciò che si è detto sugli organismi in relazione a cellule; e procedendo ulteriormente verso il basso, le molecole potrebbero essere risolte negli atomi che le compongono, e questi a loro volta in particelle elementari.

Si dovrebbe ricordare però che la relazione «riducibile a» è del tipo descritto dai logici come transitivo: in altri termini, se A può

essere ridotto analiticamente a B e B a C, A può essere ridotto a C. Così stando le cose, ne consegue che un concetto appartenente al campo del discorso sociale, politico o ecologico può essere interpretato nei termini degli atomi e delle molecole da cui il mondo materiale è composto; per esprimerci in termini concreti, un concetto di livello superiore come quello di disavanzo negli scambi con l'estero dovrebbe essere interpretabile nei termini delle proprietà e interazioni di atomi e molecole, e lo stesso vale per l'idea di rappresentanza proporzionale; eppure, stranamente, non c'è alcun accenno a cose del genere in testi di economia o di fisica o di scienza politica.

È evidente che la riducibilità ha i suoi limiti. Il successo dell'analisi riduttiva in biologia è dovuto principalmente al fatto che, fra le proprietà degli organismi, quelle che ci interessano di più sono proprio quelle che *rispondono* a un trattamento riduttivo: il sistema di segnalazione nel trasferimento di informazione genetica, o le disposizioni fisiche che rendono possibile la coordinazione nervosa delle parti del corpo.

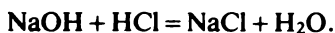
Rappresentando un tutto composito come una funzione delle sue parti componenti, accediamo quasi automaticamente alla possibilità di considerare un campo di totalità possibili diverse dal tutto che formò l'oggetto originario dell'analisi. Forse il modo più semplice per compendiare il riduzionismo è in effetti quello di considerare ciascuna rana particolare come una realizzazione in un universo di rane possibili, ciascuna delle quali avrebbe *potuto* diventare reale, anche se in effetti una sola lo divenne; analogamente, il mondo intero viene visto riduttivamente come uno di un'intera gamma di mondi possibili, e non necessariamente il migliore. Questo modo di considerare l'analisi riduttiva chiarisce che, fra tutti i modi concepibili di capire il mondo, l'analisi riduttiva è quello che facilita la comprensione di come, se necessario, si potrebbe cambiare il mondo.

È ovviamente il carattere dell'interazione fra i componenti a fissare il carattere della struttura, del fenomeno o della prestazione che si sta considerando: così solo una sottoclasse molto limitata delle possibili interazioni fra cellule ne consente l'integrazione in un organismo vivente; e analogamente solo una minoranza delle interazioni possibili fra persone è tale da dare origine a una società organizzata o a una comunità ecologica.

Prima di passare a esaminare le proprietà *emergenti*, dobbiamo fare un'osservazione importante sul contenuto empirico dei vari livelli della gerarchia in cui si può far rientrare il sistema della natura animata. In ordine crescente di particolarità, possiamo così schematizzare la gerarchia:

Società/comunità
Organismi
Organi
Cellule
Organelli cellulari
Macromolecole
Atomi
Particelle subatomiche

Una proprietà significativa di questa disposizione è che i livelli superiori includono i livelli inferiori: le società sono composte da organismi, gli organismi da organi, gli organi da cellule e via dicendo. Le scienze che si occupano specificamente di ciascun livello, cominciando al livello più basso con la fisica delle particelle e terminando con la sociologia e l'ecologia, vanno aumentando di ricchezza empirica man mano che saliamo su per i gradini della gerarchia. Si può dire che ciascun livello comprenda i concetti e i dati fattuali del proprio ambito più i concetti e i dati fattuali propri di tutte le discipline dei livelli inferiori, e che il livello sociologico/ecologico è necessariamente quello più ricco di tutti, poiché tutto ciò che vale per la biologia degli organismi vale anche per la sociologia. È una verità sociologica – e non meramente fisiologica – che gli organismi viventi che hanno bisogno di cibo si sforzino per procurarselo, ed è una verità della sociologia anche il fatto che il fegato viene danneggiato rapidamente dall'alcool etilico e da un'intera varietà di altri solventi organici. È una verità della biologia degli organismi, non meno che della chimica, che l'interazione di un acido con una base produce sale e acqua:



Questa è anche una verità della politica, benché probabilmente non sia tale da influenzare l'elettorato.

Al crescere del contenuto empirico (il repertorio degli oggetti d'osservazione reali o possibili) aumenta anche il contenuto con-

cettuale, sebbene non necessariamente in modi che possano essere predetti. Ogni livello della gerarchia ha in effetti concetti peculiari suoi propri, non interpretabili nei termini dei livelli inferiori; abbiamo già menzionato il *disavanzo negli scambi con l'estero* (esso appartiene al livello politico, e le proposizioni che si riferiscono ad esso non hanno senso ad alcun livello inferiore). Ancora, al livello della fisica atomica e a quello della chimica è possibile capire come un atomo di carbonio possa unirsi con due atomi di zolfo a formare disolfuro di carbonio, CS_2 ; ma il CS_2 ha notoriamente un cattivo odore non interpretabile ad alcun livello fisico-chimico, al quale non appartiene neppure il concetto di odore; l'odore, infatti, assieme alla sessualità, alla memoria e alla paura, è contestualmente peculiare al livello della biologia degli organismi.

Le proprietà o fenomeni che appaiono a livelli di integrazione superiori e che non sono prevedibili o interpretabili ai livelli inferiori si possono descrivere come *emergenti*. C. Lloyd Morgan, uno fra i paladini di questa nozione, tracciò una distinzione utile fra proprietà risultanti ed emergenti, le prime interpretabili, e anche prevedibili, sulla base di livelli analitici inferiori (rientrano fra queste proprietà la massa, la pressione osmotica e la combustibilità), mentre le proprietà emergenti non possono essere predette o interpretate mediante un'analisi riduttiva.

Il concetto di emergenza non dovrebbe urtare nessuno. Esso non è molto popolare perché coloro che hanno usato con successo lo stratagemma dell'analisi riduttiva tendono a farsi l'idea che l'uso dell'aggettivo «emergente» implichi una perdita di reputazione (una sensazione che non piace a nessuno). La vera obiezione alla nozione di emergenza è che essa non ha alcun valore esplicativo, che segna la fine di una linea di pensiero, non l'inizio di un'altra. Non si acquista una comprensione più profonda né si diventa più sapienti stabilendo che il possesso della mente è una proprietà emergente, giacché è chiaramente così: in un cristallo o in una molecola non c'è psiche né alcun rudimento di psiche. Né c'è alcun rudimento d'amore, nonostante la tesi di Teilhard de Chardin che, se l'amore non fosse presente in una qualche forma primordiale in atomi e molecole, non avrebbe potuto fare la sua apparizione al livello evolutivo rappresentato dall'umanità. Così l'unione di un ione sodio con un ione cloruro sarebbe interpretato come una premonizione di quell'unione fra organismi superiori che fu il

risultato dell'amore: argomento che un ammiratore inglese di Teilhard de Chardin difese sottolineando (cosa che noi non contestiamo) che se ioni sodio e ioni cloruro non avessero avuto una propensione a unirsi, difficilmente in una fase posteriore dell'evoluzione sarebbe potuto apparire l'amore. Questa difesa manifesta però purtroppo una grande confusione di pensiero: l'incapacità di distinguere fra condizioni necessarie e condizioni sufficienti di un fenomeno, di un evento o di uno stato di cose è un errore logico gravissimo.

L'idea di emergenza svolge una funzione utile nelle scienze biologiche se non altro dando un nome a ciò che non risponde all'analisi induttiva, anche se si deve aggiungere che la ricerca biologica, di qualsiasi genere, dà risultati proporzionalmente migliori quanto maggiore è il numero dei suoi fenomeni che rispondono a una tale analisi.

RIFLESSO

La definizione di riflesso proposta da B.F. Skinner può essere presentata nel modo seguente: in ogni episodio di comportamento in cui *S* rappresenta uno stimolo e *R* una risposta, possiamo parlare di un'azione riflessa quando $R = f(S)$, ossia quando la risposta è una funzione specifica dello stimolo. Il concetto di riflesso non si applica solo in neurofisiologia, ma ha un ambito di applicazione molto più vasto; così gli immunologi hanno parlato talvolta di «riflesso immunologico» con riferimento a un rapporto specifico fra lo stimolo antigenico e la reazione immunologica a cui esso dà origine. È stato utile per gli immunologi distinguere fra una via afferente e una via efferente della risposta immunitaria; la prima si riferisce a eventi che hanno a che fare con la presentazione dell'antigene al centro di risposta, e la seconda a eventi che hanno attinenza al modo in cui la reazione immunitaria viene messa in atto.

Attorno al concetto di riflesso si sono formate un certo numero di nozioni subordinate: l'espressione «arco riflesso», per esempio, è stata usata per descrivere la via, presumibilmente a binario unico, lungo la quale uno stimolo eccita successivamente un organo di senso, un nervo afferente e, dopo aver invertito la sua direzione nel sistema nervoso centrale, un nervo efferente e un organo periferico motorio di qualche tipo.

Olismo e filosofia della natura ripudiano recisamente un'opinione attribuita – a torto – a Charles Sherrington o a qualche membro della sua scuola da filosofi della natura ansiosi di inventarsi oppositori immaginari contro cui sferrare i loro attacchi. Secondo quest'opinione ogni comportamento riflesso potrebbe essere risolto nella somma di singoli archi riflessi, tesi che è ovviamente ben lontana dall'essere vera. In effetti, la ragione per cui l'espressione «arco riflesso» passò di moda va vista precisamente nel fatto che lo stesso Sherrington e la sua scuola dimostrarono in modo molto chiaro come le interazioni nel sistema nervoso centrale e la convergenza di vie afferenti su una singola via efferente facessero dell'arco riflesso un concetto irrimediabilmente irrealistico.

L'espressione «riflesso condizionato» si riferisce a una situazione in cui una risposta riflessa è attivata non semplicemente dallo stimolo che la suscitò in origine ma da uno stimolo condizionante che era stato ripetutamente fatto precedere allo stimolo originario. Il condizionamento dà origine all'equivalente neurologico di un'attesa e fornisce anche una forma rudimentale di apprendimento afferente, ossia di apprendimento per accrescere il repertorio di stimoli a cui può essere data una certa risposta motoria.

SANGUE E SUA CIRCOLAZIONE

Il sangue è un liquido salato, viscoso, di colore giallastro o paglierino, contenente in sospensione una varietà di corpuscoli, fra cui soprattutto i globuli rossi (*eritrociti* o emazie), i quali provvedono al trasporto di ossigeno in ogni parte del corpo. La parte liquida del sangue è nota come *plasma* sanguigno; quando però il sangue si coagula, le fibre di fibrina da cui il coagulo è costituito, si contraggono liberando un liquido (che non si coagula più): è il *siero*, che normalmente non contiene cellule in sospensione.

Benché ci siano eccezioni, le arterie contengono di norma sangue ossigenato a una certa pressione, la quale può essere misurata facilmente determinando con un semplice apparecchio quale pressione si debba applicare per occludere un'arteria e interrompere temporaneamente il flusso sanguigno. Le vene contengono invece sangue disossigenato, più scuro del sangue arterioso; l'eccezione è costituita, ovviamente, dall'arteria polmonare, che trasporta il sangue non ancora ossigenato ai polmoni, da cui le vene polmonari lo restituiranno ossigenato all'atrio sinistro del cuore. Le arterie hanno di solito un rivestimento muscolare, ed è la contrazione di tale rivestimento che impedisce la perdita di sangue quando vengono lese piccole arterie.

Oltre ai globuli rossi, il plasma sanguigno contiene in sospensione una varietà di globuli bianchi (o leucociti): i più numerosi sono i linfociti e i *granulociti* di vario tipo, capaci di inglobare corpuscoli estranei come i batteri (e tanto più efficacemente se le loro prede sono state in precedenza rivestite con anticorpi).

Oggi è difficile immaginare come, un tempo, si sia potuto credere che il sangue si muovesse nel corpo con un moto di flusso e ri-

flusso, avanti e indietro. È facile perciò sottovalutare l'importanza della scoperta della circolazione del sangue; una scoperta che per la sua grandezza, nonché per lo stile con cui fu fatta, ha procurato meritatamente a William Harvey un posto nella galleria dei grandissimi, che annovera, oltre a Sir Isaac Newton, Galileo, Darwin e quei pochi altri che hanno rivoluzionato il pensiero del loro tempo.

Benché già lo spagnolo Serveto avesse riconosciuto la circolazione polmonare (dal cuore ai polmoni e ritorno), Harvey andò molto oltre interpretando correttamente la natura del battito cardiaco e la base anatomica del sistema circolatorio; si rese conto, inoltre, della funzione delle valvole cardiache, nonché del carattere passivo della dilatazione del cuore: comprese, in breve, tutti gli elementi fondamentali della circolazione del sangue come la intendiamo oggi.

Harvey giunse a queste conclusioni grazie allo studio dell'anatomia e a osservazioni semplici ed esatte. Purtroppo, per accreditare una diffusa mistica dell'osservazione clinica, e per attribuire a Harvey una patente di scientificità secondo lo stile che John Stuart Mill e Karl Pearson ritenevano tipico della scienza, si ritrasse Harvey come uno scienziato induttivo che, senza alcuna idea preconcepita, fece osservazioni ed esperimenti e su quella base sviluppò la teoria della circolazione del sangue. Noi crediamo invece che Harvey avesse già concepito chiaramente la nozione di circolazione, cosicché i suoi esperimenti, lungi dal raccogliere dati e accumulare osservazioni empiriche, furono esattamente quelli che avrebbe eseguito chi avesse voluto verificare un'ipotesi già formulata. Harvey fu insomma un vero scienziato, ben più di come sarebbe stato se si fosse limitato a inchinarsi umilmente «avanti alla Natura, attento a impararne le lezioni dalle sue labbra.

La storia evolutiva del sangue è stata oggetto di varie speculazioni romanzesche, tra le quali quella secondo cui esso discenderebbe sostanzialmente dall'acqua di mare, e la sua composizione attuale nei mammiferi rispecchierebbe la composizione salina dell'acqua di mare qual era nell'epoca in cui i pesci ne uscirono per colonizzare la terraferma. Questa congettura sarebbe meno campata in aria se ci fosse anche solo la minima probabilità che il sangue dei pesci sia mai stato in equilibrio osmotico e ionico con

l'acqua di mare in cui vivevano. Senza dubbio c'è una qualche affinità tra la composizione salina dell'acqua di mare e quella del sangue; avendo la vita avuto inizio in mare, il metabolismo cellulare dev'essersi evoluto sicuramente in relazione ai componenti inorganici dell'acqua marina, in particolare ai cationi sodio, potassio, calcio e magnesio e agli anioni cloruro.

L'ipotesi di un'origine marina del sangue è stata citata come un esempio di *poetismo*, ossia di una valutazione di ipotesi scientifiche per mezzo di criteri non scientifici ma letterari, aberrazione del pensiero altrettanto sgradevole dello *scientismo*, l'applicazione di procedimenti pseudoscientifici all'investigazione di questioni che non hanno nulla a che fare con la scienza (vedi P.B. Medawar, *Pluto's Republic*, Oxford 1982).

L'espressione «consanguineità» è una semplice metafora per affinità, per rapporto genetico. Benché la convinzione che i caratteri del sangue consentano un accertamento dei rapporti di parentela più approfondito rispetto ai caratteri di altri tessuti sia priva di fondamento, tuttavia, anche a causa dell'accessibilità del sangue, nonché della sua importanza nella medicina forense, le sue proprietà sono quelle che si studiano più a fondo quando si devono affrontare problemi di identità. I metodi di accertamento sono non tanto chimici quanto immunologici, poiché i metodi immunologici hanno una maggiore risoluzione e un maggior grado di specificità rispetto a qualsiasi altro metodo.

SCIMMIE ANTROPOMORFE

Linneo, il primo grande tassonomista delle scienze biologiche, riunì le scimmie cinomorfe e gli *Antropomorpha* (comprendenti le scimmie antropomorfe, il bradipo e l'uomo) in un unico gruppo che pose alla testa di tutti i mammiferi: di qui il nome di primati. Come i primati sono i primi tra i mammiferi, allo stesso modo gli antropomorfi sono i primi tra i primati: le scimmie antropomorfe propriamente dette (alle quali non appartiene la bertuccia, che è un macaco) comprendono l'orango (che un tempo condivideva con l'uomo lo stesso genere: *Homo*, appunto), il gibbono, il gorilla e lo scimpanzé. Gorilla e scimpanzé sono a tal punto simili nei caratteri utilizzabili tassonomicamente che per molto tempo la loro assegnazione a generi diversi è stata ritenuta poco saggia.

La comprensibile propensione umana a considerare l'uomo il coronamento di tutta l'evoluzione animale ha fatto attribuire particolare importanza a quei caratteri delle scimmie antropomorfe che prefigurano tratti tipici dell'uomo: il cervello relativamente voluminoso, la visione binoculare pienamente sviluppata, gli inizi della destrezza manuale, la sostituzione degli artigli con unghie piatte e dell'estro col ciclo mestruale connesso al periodo di ovulazione; nonché, ovviamente la perdita della coda. Anche l'organizzazione sociale delle scimmie antropomorfe preannuncia chiaramente la condizione umana: i gibboni, per esempio, sono monogami; e in molte specie si osserva la formazione di gruppi, o tribù, spesso dominate dal maschio più anziano. Non si può dire però che lo studio della sociologia delle scimmie abbia illuminato le strutture sociali dell'uomo. Vale piuttosto il contrario: lo stato sociale dell'uomo ci fornisce preziosi indizi su cosa ricercare presso le scimmie antropomorfe.

La scoperta delle scimmie antropomorfe, avvenuta tra il Quattrocento e il Cinquecento, ha provocato forse uno shock culturale meno violento di quanto appaia nella nostra voce UOMO, SUO POSTO IN NATURA poiché la nozione di una grande catena dell'essere, che è profondamente radicata nel pensiero occidentale, induceva le persone più riflessive ad attendersi una connessione (anche se, naturalmente, non di tipo evoluzionistico) fra animale e uomo, così come si riteneva che i cosiddetti zoofiti fossero un anello di congiunzione tra animali e piante. Non c'è bisogno di dire che è grossolanamente antiscientifico studiare le scimmie antropomorfe come se fossero prototipi, o caricature, di esseri umani: esse meritano di per se stesse un'indagine approfondita e autonoma, e solo ora cominciano ad esserne fatte oggetto.

Le scimmie antropomorfe non hanno avuto un successo particolarmente grande da un punto di vista biologico. Il grande successo dell'uomo – che non sarebbe giusto negare – è frutto in primo luogo dell'evoluzione esogenetica: quella forma tipicamente umana di trasmissione ereditaria sociale che è mediata da meccanismi non genetici bensì culturali.

SELEZIONE NATURALE

L'agente principale dell'evoluzione, sia secondo il darwinismo

classico sia secondo l'ortodossia dominante – il neodarwinismo –, è la selezione naturale. Dalla corrispondenza di Darwin con Asa Gray sappiamo che egli si rendeva ben conto del sapore animistico dell'espressione, giacché in realtà non è che la natura scelga e selezioni, ma la giustificava con la ragione che la si poteva evitare solo facendo ricorso a perifrasi lunghe e fastidiose.

Ogni popolazione i cui elementi siano (a) in grado di riprodursi e (b) soggetti a mortalità – una popolazione come quella formata da singoli animali o da singoli geni – può essere esposta a una selezione naturale. In altri termini, in essa ci sono elementi che godono di un qualche vantaggio riproduttivo netto su altri. Ciò significa solo che il tasso di riproduzione e la mortalità di tali elementi «favoriti» sono tali da determinare al passare del tempo un aumento della loro rappresentanza proporzionale nella popolazione; oppure, con una formulazione equivalente, si può dire che gli elementi naturalmente selezionati hanno un successo biologico (*fitness*) maggiore degli altri.

Il potere della selezione naturale di modificare i caratteri di una popolazione attraverso una fertilità o mortalità differenziali non è solo un teorema dedotto da primi principi astratti. Si può dimostrare, ed è stato dimostrato, che la selezione naturale opera in natura, per esempio accrescendo la rappresentanza in una popolazione di individui dotati di un mimetismo migliore, o quella di organismi meglio capaci in generale di far fronte all'ostilità dell'ambiente fisico.

Il *soggetto* della selezione naturale (ciò che viene o non viene selezionato) può essere un singolo organismo, un gene o addirittura una comunità di organismi. Hanno attinenza con quest'argomento le voci GRUPPO, SELEZIONE DI e NEODARWINISMO, e la definizione della genetica di popolazioni (in GENETICA ED EMBRIOLOGIA, TERMINI DI).

SENSO, ORGANI DI

Un sensore, strumento del tipo descritto dai tecnici come trasduttore, traduce una forma di energia o una forma d'onda in un'altra. Ne sono esempi il fonorivelatore del grammofono e il microfono, i quali traducono rispettivamente vibrazioni di pressione meccanica e atmosferica in impulsi elettrici. Questo meccanismo è

analogo al modo di agire degli organi di senso biologici, con la differenza che questi ultimi traducono mutamenti di stato ambientali in impulsi nervosi. Un organo di senso è specificamente adattato a rispondere a un tipo di mutamento ambientale piuttosto che a un altro: per esempio alla temperatura, o alla luce, al dolore, al suono, ad atteggiamenti posturali (quali vengono rivelati da sensori nei muscoli e nelle articolazioni), all'orientamento nello spazio e all'accelerazione angolare (in entrambi i casi per opera dell'orecchio, che è un organo dell'equilibrio oltre che un organo acustico). Inoltre un organo di senso abbassa la soglia dell'intensità di stimolazione che si richiede per dare inizio a un impulso nervoso: l'adattamento sensoriale (un processo in cui un organo di senso cessa di rispondere a uno stimolo di intensità uniforme) è descritto alla voce ADATTAMENTO. È questo un fenomeno che ci ricorda che gli organi di senso possono rispondere solo a un *mutamento* di stato.

Una fra le generalizzazioni più importanti che si possano fare sulla fisiologia degli organi di senso è quella contenuta nella legge dell'irritabilità specifica, o legge dell'energia nervosa specifica, di Johannes Müller. Questa legge afferma che la modalità della sensazione – sia essa di luce, di suono, di dolore o di atteggiamento posturale – è determinata non dagli organi di senso, che dopo tutto possono solo generare impulsi nervosi, ma dal nervo stesso, o piuttosto dalle sue connessioni centrali. La stimolazione del nervo uditivo produce sensazioni di suono, e quella del nervo ottico sensazioni di luce, con qualsiasi mezzo i nervi vengano stimolati. Molti altri aspetti della sensazione sono governati a livello centrale: così recettori corticali diversi provvedono alla percezione di una linea verticale e di una linea inclinata.

Sotto ogni altro aspetto si può vedere che la sensazione segue un modello kantiano. La tesi di Immanuel Kant, nella *Critica della ragion pura*, era che ciò che percepiamo, o di cui diventiamo empiricamente consapevoli, è determinato dal carattere della nostra facoltà di intuizione o percezione. Kant avrebbe provato molto piacere nel vedere in quale misura la sua impostazione sia stata confermata dalla moderna fisiologia sensoriale. Egli continuava dicendo – cosa che per noi non è più necessaria – che nella nostra conoscenza ci dev'essere qualcosa *a priori*, ossia di indipendente da ogni esperienza. Lancelot Hogben sostenne che questa posizio-

ne è minata dall'esistenza di un senso di cui Kant non era a conoscenza, ossia la propriocezione, quel senso delle articolazioni e dei muscoli su cui si fonda la nostra consapevolezza posturale; ma noi non troviamo convincente quest'argomento.

La tradizione centrale della filosofia britannica (in contrapposizione a quella continentale), associata particolarmente al nome di John Locke (1632-1704), è l'empirismo, la cui posizione può essere espressa con la frase: «Nihil est in intellectu quod prius non fuerit in sensu» (Nell'intelletto non c'è nulla che non sia stato prima nei sensi). Pur non essendo d'accordo con Kant sulla tesi che possa esistere una conoscenza indipendente da ogni esperienza, riteniamo che l'assioma empiristico abbia il torto di trascurare l'esistenza di programmi di comportamento che costituiscono una sorta di «conoscenza ereditata». Di questo tipo è la conoscenza che un topo ha di come si costruisce un nido, o un uccello del suo canto particolare. Quale che possa essere la parte dell'apprendimento e dell'esperienza sensoriale, gran parte della loro specificità – la proprietà di essere *questo* canto e non *quello* – risiede nella registrazione cromosomica (si potrebbe quasi dire registrazione su nastro) che è parte dell'eredità di un organismo. Né in biologia c'è nulla che possa conferire autorità scientifica al razionalismo cartesiano, che accettava come vero ciò che si fondava su una intensa convinzione interiore della verità evidente di certe proposizioni, combinata con l'incapacità persino di immaginare un qualche argomento scettico che potesse scuoterle. È ben noto che una di tali proposizioni, posta come principio alla base della filosofia cartesiana, fu il *cogito*: «Cogito ergo sum» (Penso, dunque sono).

Poiché tutto quel che sappiamo sul funzionamento dei sensi si fonda sulle nostre sensazioni, non ci è di alcuna utilità appellarci alla fisiologia per sottrarci all'idealismo berkeleyano, secondo il quale il mondo esterno esiste solo in virtù delle idee che ce ne formiamo nella nostra mente. Non possiamo trovare una risposta migliore di quella di Samuel Johnson. «Lo confuto così», disse Johnson, calciando una grossa pietra con tanta forza da esserne respinto all'indietro. In tal modo, è stato osservato, Johnson confutò George Berkeley e corroborò a un tempo la terza legge del moto di Newton («A ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria»).

SESSILI, ANIMALI

Non c'è bisogno di essere zoologi di professione per poter richiamare alla mente senza difficoltà una varietà di animali sedentari, fissati in permanenza al substrato su cui vivono; fra questi animali sono attinie, idroidi e polipi in generale, cirripedi, ascidie, crinoidi e patelle. Gli animali sessili hanno in comune un certo numero di adattamenti strutturali e fisiologici: presentano una tendenza a una simmetria radiale e sviluppano o un duro esoscheletro o guaine o tuniche spesse, resistenti e virtualmente immangiabili. Essi hanno altamente sviluppati il potere di rigenerazione, come pure la riproduzione asessuale che così di frequente si accompagna ad esso. L'ermafroditismo tende a essere la regola, accompagnato da vari accorgimenti per impedire l'autofecondazione; di solito le uova fecondate si sviluppano in larve mobili, che prima di fissarsi a un substrato subiscono una metamorfosi radicale.

SESSUALI, CICLI

Si può pensare che i cicli sessuali, tanto quello estrale quanto quello mestruale, si siano evoluti in risposta alle pressioni selettive conseguenti alla necessità di conservare il numero limitato di oociti di cui la femmina è dotata e di facilitarne la fecondazione. Poiché i mammiferi maschi producono sperma per tutta la vita, non esiste alcuna ragione imperativa per conservarlo. Non sorprende perciò che i maschi non abbiano alcuna ciclicità nella loro capacità o inclinazione apparente al coito, mentre le femmine sono recettive solo a intervalli che ricorrono ciclicamente durante il periodo noto come estro (la parola deriva dal greco *oistros*, l'assillo o estro, appunto, che punge il bestiame, tormentandolo, a quanto si credeva nell'Antichità, al punto da stimolarne il desiderio sessuale).

L'ovulazione, il distacco di un oocito, ha luogo subito prima dell'inizio del cosiddetto calore. Benché nelle scimmie del Nuovo Mondo perdurino vestigia di questo ciclo di recettività, gli esseri umani, le scimmie antropomorfe e le scimmie cinomorfe del Vecchio Mondo sono caratterizzati da un ciclo mestruale di tipo un po' diverso. La parola stessa «mestruazione» si riferisce al distacco periodico dell'endometrio, la tunica mucosa altamente vascola-

rizzata dell'utero in cui va a impiantarsi l'uovo fecondato. Vari adattamenti vascolari riducono al minimo la perdita di sangue. L'ovulazione ha luogo a metà circa del ciclo mestruale, nel corso di un episodio accompagnato talvolta da *Mittelschmerz*, o dismenorrea intermestruale.

La comparsa di un po' di sangue vaginale nel pieno dell'estro fu per molto tempo causa di confusione fra ciclo estrale e mestruale. I due cicli sessuali si distinguono però chiaramente in quanto la femmina rimane recettiva per tutto il ciclo mestruale (fatto che, secondo Gavin de Beer, avrebbe avuto una parte importante nell'evoluzione sociale della monogamia, l'accoppiamento stabile di un maschio e una femmina).

SESSUALITÀ

I fini della sessualità non sono oggetto di controversie: è nozione universalmente accettata che la sessualità provvede alla ricombinazione genetica, e questa a sua volta alla versatilità evolutiva, ampliando enormemente il numero dei caratteri su cui può esercitarsi la selezione naturale. Se la paragoniamo alle attrazioni rivali della partenogenesi e della riproduzione asessuale, ci rendiamo conto facilmente che la sessualità è senza dubbio una buona cosa, ma questa non è ovviamente una spiegazione sufficiente del perché si sia evoluta.

La ricombinazione genetica è uno stratagemma biologico molto antico, che dev'essere esistito già da molto tempo prima dell'evoluzione del sesso. I batteri hanno la sessualità, ma alcuni hanno anche la capacità – connessa senza dubbio all'esistenza di un meccanismo di riparazione del DNA – di «infettarsi» reciprocamente col loro proprio DNA, come dimostrano le scoperte di Griffith e Avery che abbiamo raccontato altrove. Una volta affermatosi nella popolazione, il dimorfismo sessuale è imposto dal meccanismo cromosomico descritto in «Sesso, determinazione del» (nella voce GENETICA ED EMBRIOLOGIA, TERMINI DI).

È difficile pensare a un processo evolutivo diverso dalla selezione di gruppo in grado di spiegare il persistere della sessualità in competizione con meccanismi riproduttivi manifestamente più semplici. Ciò nondimeno, come dice John Maynard Smith in *The Evolution of Sex* (Cambridge 1978), «anche se accettiamo la tesi

che la selezione di gruppo abbia svolto una funzione significativa nella conservazione della riproduzione sessuale, essa non può aver dato un contributo importante all'origine del sesso; né può essere importante nel determinare la frequenza del *crossover* e la rapidità di ricombinazione».

SIFILIDE

La sifilide, malattia altamente contagiosa causata da un batterio del genere delle *spirochete*, presenta un grande interesse per il biologo di orientamento filosofico. È convinzione molto diffusa che essa sia stata introdotta nel Vecchio Mondo dai marinai di Colombo al ritorno dal grande viaggio alle Indie Occidentali, anche se ovviamente nessuno può essere sicuro che non fosse mai esistita prima in Europa. La sifilide, dopo tutto, è una malattia con manifestazioni esantematiche, con pustole e vescicole, e qualsiasi caso di sifilide si fosse verificato avrebbe potuto essere liquidato facilmente come una delle malattie eruttive più familiari. A un certo punto si capì che la sifilide poteva essere congenita, perché può essere trasmessa al feto nell'utero (questo fu senza dubbio uno dei fattori che contribuirono al successo della teoria della malattia come punizione).

La sifilide ha una storia clinica ciclica e può rimanere occulta per periodi piuttosto lunghi. In tutte le malattie che presentano un decorso come questo è estremamente difficile valutare l'efficacia delle diverse forme di trattamento. Paul Ehrlich (1854-1915), il brillante fondatore della chemioterapia, introdusse il composto arsfenamina col nome commerciale di Salvarsan, e successivamente lo perfezionò. Nonostante gli attacchi degli scettici, che richiamaevano l'attenzione sull'estrema tossicità dei farmaci arsenicali, il Neosalvarsan fu accettato infine come rimedio. Ovviamente questo antiluetico non fu mai sottoposto a prove cliniche rigorose, come quelle cui le innovazioni terapeutiche sono soggette oggi. L'organismo causale della sifilide è sensibile a vari antibiotici, compresa la penicillina, i quali hanno ormai soppiantato nella terapia gli arsenicali.

Le *spirochete* sono così chiamate perché la loro sostanza cellulare batterica è avvolta a elica attorno a un filamento centrale; esse si spostano grazie a una varietà di flessioni, contrazioni, disten-

sioni e avvolgimenti. Un po' diverse rispetto ai tipi più comuni di batteri, le spirochete furono classificate un tempo come protozoi. In realtà, però, esse contengono vari componenti distintamente batterici, fra cui l'acido muramico.

L'agente causale della sifilide umana è la spirocheta *Treponema pallidum*. Nella treponematosi non trattata quest'organismo è disseminato ampiamente in tutto il corpo, compreso il sistema nervoso, dando origine a una varietà di disturbi sensoriali (si ritiene che la sordità di Beethoven fosse di origine sifilitica) e a sintomi che imitano varie malattie neurologiche. Il risultato ultimo estremo è la paralisi generale associata a demenza progressiva, che può essere accompagnata da tremori, paralisi spastica progressiva degli arti e disturbi psichici, come deliri di grandezza. Questi sintomi terribili, tanto più quando si vide in essi un carattere retributivo, fecero una profonda impressione sugli autori dell'Ottocento e *fin-de-siècle*.

SIMBIOSI

Si chiama simbiosi un'associazione reciprocamente vantaggiosa fra due organismi privi di connessioni tassonomiche. L'esempio più familiare è la simbiosi fra fungo e alga verde che forma un lichene: quest'organismo composto è in grado di vivere dovunque possa sopravvivere un fungo, e la sua versatilità è enormemente accresciuta dalla capacità di usare l'anidride carbonica come una pianta, cosicché i licheni prosperano anche su muri di pietra asciutti. Un altro esempio di simbiosi ci è fornito dal rapporto fra i ruminanti e la popolazione sterminata di microrganismi che vivono nel loro rumine, dove danno un aiuto essenziale alla digestione di sostanze altrimenti indigeribili per i loro ospiti (fieno e altre ghiottonerie del genere), decomponendo la cellulosa in frammenti più piccoli, assimilabili dai ruminanti.

I partner in un rapporto simbiotico si dicono simbionti. Non è detto che i simbionti debbano appartenere necessariamente a gruppi di organismi diversi, ma è invariabilmente così nei casi di simbiosi più spettacolari, giacché solo quando le loro capacità naturali sono molto diverse il rapporto simbiotico può diventare particolarmente vantaggioso.

È facile immaginare come la simbiosi possa essersi evoluta dal

mero commensalismo e come possa evolversi facilmente in parassitismo. Il commensalismo (letteralmente, il dividere la stessa tavola) non presenta necessariamente vantaggi reciproci. Più spesso è un'associazione opportunistica in cui le abitudini nutritive di un animale e le tecniche con cui si procura il cibo forniscono un ambiente idoneo per un altro. Consideriamo, per esempio, quei membri della famiglia dei percidi che si fissano per mezzo di ventose al corpo di squali o pesci spada, vivendo delle briciole che cadono dalla ricca mensa dell'ospite involontario, il quale non ne ricava alcun beneficio e non è neppure in grado di godere del piacere che un ricco può ricavare dall'adulazione del suo beneficiato. Il commensalismo è particolarmente ben sviluppato fra specie di anellidi, i quali hanno sviluppato vari stratagemmi per vivere all'interno di tubi o altri ripari costruiti da organismi che non hanno alcun rapporto tassonomico con loro.

Anche il parassitismo potrebbe essere derivato per estrapolazione evoluzionistica dalla simbiosi. Nel parassitismo il vantaggio della relazione simbiotica non è più bilaterale. Il beneficio è tutto del parassita, mentre l'ospite non ne riceve alcun utile. Poiché però non è chiaramente nell'interesse del parassita uccidere l'ospite, questo rapporto non conduce di solito alla morte di quest'ultimo.

SISTEMA NERVOSO SIMPATICO

Come indica la sua designazione alternativa, di sistema nervoso autonomo, il «simpatico» è quella parte del sistema nervoso che provvede alle attività automatiche, non volontarie, del corpo. Finché i filosofi non ci fecero sentire a disagio, eravamo soliti dire che attività come il battito del cuore, la sudorazione, il movimento peristaltico dell'intestino e tutto ciò che comporta la nozione di controllo vasomotorio, si verifica senza l'interposizione della mente. Il sistema nervoso autonomo – sotto la guida del suo «cervello», l'ipotalamo – innerva il cuore, i muscoli lisci dei vasi sanguigni e dei visceri e le ghiandole sudoripare. Sistema simpatico e parasimpatico, le due divisioni del sistema nervoso, hanno effetti antagonistici.

Un carattere anatomicamente distintivo del sistema nervoso simpatico è che i neuroni che lo compongono (i cui corpi cellulari

si trovano nel sistema nervoso centrale) non innervano direttamente i loro rispettivi organi terminali, ma lo fanno in modo mediato: la fibra nervosa che esce dal sistema nervoso centrale forma una sinapsi con un secondo neurone, il cui corpo cellulare si trova di solito in un ganglio simpatico accanto al midollo spinale, anche se talvolta può essere più vicino all'organo periferico. La prima fibra viene designata come pregangliare, e la seconda, che procede direttamente verso l'organo periferico, postgangliare.

Si deve alla sinapsi il ritardo misurabile nella propagazione di un impulso nervoso. È la sinapsi a polarizzare l'impulso, ossia a far sì che il segnale si propaghi in una sola direzione (anche se, da un punto di stimolazione all'interno di una fibra nervosa, esso si propagerà in entrambe le direzioni).

La scoperta che il sistema nervoso ha una struttura cellulare può essere considerata il massimo trionfo della teoria cellulare. Essa fu anche un trionfo concettuale, poiché la struttura cellulare del sistema nervoso è tutt'altro che evidente. Il suo riconoscimento non fu un fulmine a ciel sereno, bensì il risultato di ricerche lunghe e minuziose condotte dal neuroanatomista spagnolo Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) e dal fisiologo e istologo scozzese Edward Albert Sharpey-Schafer (1850-1935).

Un neurone assomiglia a una cellula comune per avere un nucleo circondato da citoplasma, ma ne differisce in quanto il corpo cellulare è allungato in estensioni molto lunghe, le fibre nervose (assoni, dendriti), che in animali di grandi dimensioni possono avere la lunghezza di vari metri. Il corpo cellulare che circonda il nucleo viene chiamato a volte pericario o pirenoforo e altre volte semplicemente corpo cellulare.

La lunghezza relativamente molto grande dei neuroni pone il difficile problema biofisico di come il nucleo cellulare controlli il citoplasma. La velocità di diffusione è tale che, quando un soluto di concentrazione esterna costante si diffonde all'interno di una sostanza ad esso permeabile, la distanza percorsa dal fronte d'onda della sostanza che si diffonde è proporzionale alla radice quadrata del tempo. Il controllo della sintesi all'estremo terminale di un assone non può essere perciò mediata per mezzo di una diffusione ordinaria dal nucleo, e ha perciò guadagnato terreno l'idea che ci sia un movimento di sostanza cellulare lungo l'assone, oppure che l'assone stia crescendo di continuo dal pirenoforo.

La complessità dei neuroni è tale che essi sono incapaci di divisione cellulare; la perdita di un neurone è perciò irreparabile. Un neurone può però rigenerarsi, e la regola è che, quando un assone viene reciso, la sua parte periferica (quella lontana dal corpo cellulare) si disintegra, e la rigenerazione ha inizio dal centro. È un processo lento, e il recupero funzionale dopo la recisione di un nervo periferico è di norma alquanto modesto: devono essere stabilite le giuste connessioni, e deve scomparire l'infiammazione che si accompagna alla recisione; inoltre la nuova fibra dev'essere rivestita daccapo di una guaina isolante grassa di mielina.

La funzione delle lunghe fibre nervose è ovviamente quella di condurre impulsi nervosi. Si tende a usare la parola «neurite» (o «assone» o «cilindrassa») per indicare una fibra nervosa che conduce impulsi in direzione centrifuga, e la parola «dendrite» per indicare le fibre, forse più corte e tozze, che conducono impulsi verso il corpo cellulare.

SOCIOBIOLOGIA

La sociobiologia è una nuova disciplina che aspira a diventare una scienza, e si può dire che il ben noto testo di Edward O. Wilson *Sociobiology: The New Synthesis* (Cambridge, Mass., 1975)* ne segni l'instaurazione. Nella sua massima valutazione, la sociobiologia potrebbe essere considerata una realizzazione dell'ambizione di John Stuart Mill (che fu forse la più importante fra quelle che lo stimolarono a sviluppare un sistema di logica) di gettare le basi di una scienza della società. La sociobiologia è infatti un'interpretazione inflessibilmente deterministica del comportamento sociale.

La *Sociobiologia* di Wilson è riduzionistica in una misura che sarebbe piaciuta a Mill, che scrisse nel *System of Logic*: «Le leggi dei fenomeni della società non sono e non possono essere altro che le leggi delle azioni e passioni di esseri umani raccolti assieme nello stato sociale... Gli esseri umani nella società non hanno altre leggi oltre a quelle che sono derivate dalle leggi della natura del singolo, e che possono risolversi in esse».

Nella sociobiologia è implicita – o in ogni caso è la sua principa-

* Trad. it. *Sociobiologia, la nuova sintesi*, Zanichelli, Bologna 1979.

le ambizione a lungo termine – la possibilità di dimostrare che il comportamento sociale umano e gli usi sociali umani (compresi forse eventuali perfezionamenti del contratto sociale) si sono evoluti necessariamente per selezione naturale. Come scrive Wilson: «Il ruolo onnipresente della selezione naturale nel plasmare ogni sorta di caratteri negli organismi può ben essere chiamato il dogma centrale della biologia evoluzionistica». L'altruismo è visto come il «problema teorico centrale della sociobiologia», in quanto pone nella forma più acuta il problema sconcertante di come geni o organismi possano assicurarsi un vantaggio riproduttivo netto attraverso una forma di comportamento che, qualunque vantaggio possa conferire ad altri, svantaggia chi lo adotta. Per qualche tipo di comportamento altruistico – per esempio le cure parentali – non c'è dubbio che la selezione tramite consanguinei (*kin selection*) offra una possibile soluzione.

È sorte degli innovatori – e Edward O. Wilson non fa eccezione – che, per quanto grandi siano i riconoscimenti conseguiti per le loro innovazioni teoriche, essi vengano criticati per gli insuccessi e le applicazioni erranee dei loro seguaci. Sociobiologi dilettanti entusiasti che non comprendono a fondo la teoria genetica dell'evoluzione mediante selezione hanno proposto una quantità di nozioni – fra cui la selezione di gruppo – che non reggono a un esame critico. Queste nozioni si fondano sulla credenza erronea che i geni si fissino in una popolazione se la cosa è desiderabile «per il beneficio della specie» o del gruppo. (Vedi in proposito Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford 1976).^{*} Il guaio nei libri che propongono queste idee, secondo uno dei loro critici più severi, è che «i loro autori non hanno capito assolutamente niente».

Questo non è l'unico modo in cui fanno la loro apparizione in sociobiologia le nozioni semplicistiche del geneticismo; fra le altre manifestazioni c'è la tendenza abituale a sminuire l'importanza dell'evoluzione esogenetica e ad attribuire all'azione di geni la determinazione di differenze di caratteri che più abitualmente, e forse in modo più appropriato, vengono attribuite all'influenza di un'eredità culturale (indottrinamento e apprendimento). Un'altra manifestazione, che si trova anche nella sociolinguistica, è la convinzione che ogni tratto caratteriale posseduto da tutti i membri di

^{*} Trad. it. *Il gene egoista*, Zanichelli, Bologna 1979.

una comunità interfeconda – per esempio da tutti gli esseri umani – debba essere geneticamente programmato.

Dal punto di vista della storia delle idee, la sociobiologia appartiene a una linea di pensiero che ebbe inizio col grandioso *System of Philosophy* di Herbert Spencer, e in particolare con i *Principles of Sociology** su cui Benjamin Kidd (*Social Evolution*, New York 1894, p. 2) scrisse: «L'autore è riuscito a fare così poca luce pratica sulla natura dei problemi sociali del nostro tempo che le sue conclusioni vengono interpretate alla luce di due concezioni diametralmente opposte dell'organizzazione sociale, quella individualistica e quella collettivistica». Kidd non credeva nell'esistenza di «una scienza della società umana in senso proprio» (p. 1); e di quest'opinione era anche Leslie Stephen (p. 5, nota).

Può darsi che la sociobiologia dia buona prova di sé nell'interpretazione del comportamento sociale di animali inferiori e che un giorno possa essere considerata un punto di svolta nella storia del pensiero sociale. Essa non ha però ancora conseguito il suo riconoscimento, né si può dire che sia, come sostiene Wilson, «una branca della biologia... che si può considerare coordinata a discipline come la biologia molecolare e la biologia dello sviluppo».

SOPRAVVIVENZA, TAVOLA DI

Immaginiamo una popolazione di esseri umani – per esempio 100.000 – che vengano etichettati o altrimenti identificati alla nascita. Immaginiamo anche che si tenga una registrazione dell'età a cui ciascun membro della popolazione muore finché la tavola viene completata alla morte dell'ultimo membro. Una tale tavola potrebbe ben essere chiamata «tavola di mortalità», ma con un felice eufemismo, che ci permette di capire facilmente perché la demografia sia spesso classificata fra le discipline umanistiche piuttosto che fra le scienze, viene chiamata invece «tavola di sopravvivenza»; e una tavola di sopravvivenza è lo strumento più importante dell'attuario.

Per convenzione, il numero dei membri della popolazione con cui la tavola di sopravvivenza comincia viene designato come L_0 e il numero delle persone che sopravvivono sino all'età x come L_x ;

* Trad. it. *Principi di sociologia*, UTET, Torino 1967.

ovviamente L_x diminuisce all'aumentare di x . Dalla tavola di sopravvivenza si possono leggere direttamente un certo numero di caratteri demografici di una popolazione: così la probabilità alla nascita di arrivare a vivere sino all'età x è L_x/L_0 , e in generale la probabilità all'età a di giungere a un'età maggiore b è data da L_b/L_a . Inoltre il quoziente di mortalità è il quoziente di diminuzione del numero dei sopravvissuti, ossia $-dL_x/dx$, dove il segno meno dà alla cifra risultante un valore positivo. Più istruttivo del quoziente di mortalità è però il quoziente di mortalità specifico per età: il quoziente di mortalità per ogni età della vita espresso come funzione del numero di persone che sono vissute fino a quell'età. Questo quoziente è chiamato talvolta μ_x ed è dato da

$$-\mu_x = \frac{1}{L_x} \frac{dL_x}{dx} \text{ o, che è la stessa cosa, } d \frac{\log L_x}{dx}.$$

Possono essere costruite tavole di sopravvivenza non solo per organismi viventi ma anche per qualsiasi oggetto materiale che soffra qualcosa di equivalente alla mortalità: per automobili, stoviglie di ristorante e via dicendo. I caratteri attuariali di una tale tavola di sopravvivenza possono fornire una quantità di informazioni sulle cause delle perdite e sul modo migliore per il reintegro; le statistiche demografiche sulle automobili ci dicono anche se sia stato sempre ragionevole comprare una macchina nuova o se in certi casi non sarebbe stato meglio comprare una macchina che avesse già uno o due anni di vita.

SPECIFICITÀ

Se si facesse una stima dei termini tecnici usati più spesso negli scritti professionali e nelle conversazioni fra biologi, abbiamo pochi dubbi sul fatto che «specificità» sarebbe nettamente in testa. Questo vocabolo si riferisce alla complementarità o all'opposizione-corrispondenza riscontrate in reazioni fra antigene e anticorpo, fra enzima e substrato e fra stimolo e risposta nell'azione riflessa.

SPORE

Cellula riproduttiva che è in effetti un gamete della riproduzione asessuale, una spora differisce da un normale gamete per il posses-

so del numero usuale o diploide di cromosomi. Così una spora può dare origine a un adulto per mezzo di una sequenza di comuni divisioni cellulari. Il termine «spora» viene usato talvolta per designare una cellula riproduttiva asessuale con un piccolo contenuto d'acqua, cellula molto resistente a circostanze ambientali sfavorevoli che sarebbero letali alla maggior parte degli organismi viventi e certamente a gameti normali. (Questi, a causa della loro richiesta di permeabilità allo sperma, non possono avere il tegumento molto resistente e compatto della spora.) Le spore batteriche, in particolare, possono essere così resistenti da non poter subire danno virtualmente da nulla, tranne che da un'esposizione prolungata a vapore surriscaldato (che, essendo a una pressione maggiore di quella atmosferica, può avere una temperatura superiore a 100 °C).

STERILITÀ E SUOI RIMEDI

La sterilità nel matrimonio è molto più diffusa di quanto si pensi comunemente: stime attendibili ne fissano la frequenza attuale in Gran Bretagna attorno al 10 per cento. Per alcune cause di sterilità sono stati escogitati rimedi manipolativi, che possono implicare la fecondazione della cellula uovo in vitro prima del suo impianto nell'utero materno. La sterilità femminile ha origine a volte da un'ostruzione o da qualche altra anormalità in conseguenza della quale un oocito non possa discendere lungo l'ovidotto nell'utero, sulla cui parete va normalmente a impiantarsi dopo la fecondazione. Un rimedio introdotto di recente è la fecondazione in vitro della cellula uovo con lo sperma del marito. Il reimpianto dell'uovo fecondato nell'utero può essere seguito da una normale gestazione e dal parto.

Per migliorare le probabilità di successo della fecondazione in vitro, la madre può essere sottoposta a un trattamento ormonale per indurre una «superovulazione», ossia per farle produrre varie uova a un tempo. Poiché un solo uovo sarà fecondato e usato per l'impianto nell'utero, le altre uova, quando non vengono eliminate, possono essere usate talvolta per lo studio dello sviluppo umano: per esempio stimolando una cellula uovo fecondata alla formazione di un clone. Alcuni oppositori a questo procedimento hanno paragonato l'eliminazione di cellule uovo non usate a un

delitto, sostenendo che l'oggetto su cui si sperimenta è un essere umano vivo. Il pubblico generico, però, sostenuto da un buon senso tenacemente jonssonian, considera l'intero processo un rimedio umano e gratificante, il cui effetto è quello di mettere al mondo un bambino che godrà di uno dei massimi vantaggi che un neonato possa avere: quello di essere il frutto di una maternità cosciente e intensamente desiderata.

Quando causa della sterilità è qualche deficienza o inadeguatezza da parte del maschio, si possono usare vari espedienti, fra cui il ricorso all'inseminazione artificiale (IA), procedimento che i mezzi di comunicazione di massa fanno del loro meglio per presentare nei termini più pruriginosi.

Quando il maschio è in grado di produrre uno sperma normale ma, per una qualche ragione, psicologica o fisica, non riesce introdurlo nella vagina, si può far ricorso alla cosiddetta inseminazione artificiale omologa (IAO), ossia col seme del marito. Se il procedimento riesce, il figlio così concepito è in ogni senso figlio dei suoi genitori. A questo procedimento normalmente non si fa alcuna obiezione motivata da scrupoli per motivi moralistici, forse perché l'intera operazione ha un carattere troppo clinico per suscitare un interesse licenzioso.

Ci sono state invece forti opposizioni alla IAE, l'inseminazione artificiale eterologa, che utilizza lo sperma di donatori volontari. L'obiezione primaria rivolta a questo procedimento è che in queste circostanze il rapporto parentale non è genuino e che il figlio non è altro che un figliastro. Fra le altre obiezioni c'è quella che, se l'IAE dovesse avere una grande diffusione, finiremmo col popolare il mondo di fratellastri e sorellastre, rischiando in tal modo l'inincrocio, con conseguente danno genetico.

La probabilità di una tale disavventura è però trascurabilmente piccola, e noi riteniamo poco probabile che l'inseminazione artificiale possa soppiantare i processi procreativi naturali, che finora sono stati all'altezza del compito. Quanto all'«innaturalità» dell'IAE, noi consideriamo i bambini nati in questo modo come figli adottivi, col vantaggio rispetto ai comuni figli adottivi di essere cresciuti all'interno della madre adottiva e di essere stati partoriti da lei, cosicché ci si può attendere che essa abbia per il bambino un sentimento totalmente materno.

Tutti i procedimenti che abbiamo illustrato sono rimedi specifi-

ci a particolari infermità: la gente comune può compiacersi e tranquillizzarsi al pensiero che questi antidoti alla sterilità sono ora a disposizione di tutti, a meno che non si sia trattenuti da bigottismo religioso o dal risentimento forte, ma di solito confuso, che profani di intelligenza non molto brillante provano per la presunta usurpazione e diminuzione di prerogative umane per opera della scienza moderna. Noi riteniamo ridicolo questo punto di vista, poiché al contrario tutti i procedimenti che abbiamo descritto incoraggiano un ripristino piuttosto che un'abolizione di prerogative umane.

STORICISMO

Aberrazione di pensiero nelle scienze sociali in qualche misura affine al geneticismo nelle scienze biologiche, lo storicismo merita nondimeno una menzione in un libro che è primariamente biologico. Lo storicismo corrisponde alla convinzione che esista o possa essere proposta una scienza sociale storica che, scoprendo le leggi della trasformazione sociale (e le leggi, addirittura, del destino umano), possa fare della predizione storica un processo così familiare e sicuro come la predizione astronomica. Non dobbiamo sottovalutare l'influenza profonda esercitata dall'amico e collaboratore di Sir Isaac Newton, il matematico e astronomo Edmund Halley, quando, nel 1704, predisse che la cometa che oggi porta il suo nome sarebbe riapparsa nel 1758 (la cometa sarà di nuovo visibile nei primi mesi del 1986). Quell'impresa conferì un grandissimo prestigio alla scienza, e si sperò che anche la storia potesse conseguire risultati simili, se solo fosse stato possibile padroneggiare le leggi della trasformazione sociale come Newton aveva dominato quelle dei corpi celesti.

L'inclusione di una voce sullo storicismo è giustificato ancor più dall'affermazione fatta da Friedrich Engels nella sua orazione funebre sulla tomba di Karl Marx: «Come Darwin scoprì la legge dell'evoluzione nella natura organica, così Marx scoprì la legge dell'evoluzione nella storia umana» (vedi Franz Mehring, *Karl Marx. Geschichte seines Lebens*, Berlin 1918).* Marx, come si ricorderà, dedusse la legge come una conseguenza del principio della lotta di classe, secondo il quale la condizione della classe ope-

* Trad. it. *Vita di Marx*, Editori Riuniti, Roma 1956.

raia doveva peggiorare inevitabilmente di anno in anno. Marx non avrebbe potuto sbagliare di più; la sua predizione è così lontana dalla norma fissata da Halley da rappresentare l'antitesi della verità. Nei paesi industrializzati dell'Occidente – quelli in cui le classi lavoratrici avrebbero dovuto subire i danni maggiori dalle macchinazioni del capitalismo – la sorte dei lavoratori è andata infatti migliorando, non solo in termini di reddito reale e di qualità della vita ma anche in conseguenza del riconoscimento, da parte della società, del debito che tutti gli strati sociali hanno verso di loro.

Lo storicismo prosperò nella sociologia finché questa non trovò il suo Hume; simile a quella di Hume è infatti la posizione di Karl Popper nel pensiero sociologico. In *Poverty of Historicism* (London 1957³)* e in *The Open Society and Its Enemies* (ed. riv. London 1957),** Popper minò le pretese esplicative dello storicismo con la stessa efficacia con cui Hume aveva minato le pretese esplicative dell'empirismo. In conseguenza di ciò, oggi sentiamo parlare molto meno di forze storiche; se avremo un po' di fortuna, presto non ne sentiremo più parlare del tutto.

SUDORAZIONE

Il sudore è un liquido debolmente salato contenente urea e altre sostanze di escrezione. Prodotto da lunghi tubuli arrotolati su se stessi formati nello sviluppo dello strato più esterno della pelle (l'epidermide), il sudore si distribuisce sulla superficie generale del corpo oltre che su aree esposte come la faccia. Pur contenendo urea, la sua funzione escretorica è secondaria rispetto a quella di meccanismo di termoregolazione. Che l'evaporazione d'acqua causi raffreddamento è una comune osservazione quotidiana, e tutti gli organismi, tranne quelli che hanno poche ghiandole sudoripare (come cani e conigli), usano il sudore – in realtà il calore latente di evaporazione – come mezzo per abbassare la temperatura. Il sudore, si noti, non si limita a uscire dai pori sudoripari, ma viene espulso da cellule muscolari derivate anch'esse dall'epidermide.

Ha un qualche interesse psicologico il fatto che i dermatologi distinguano fra due tipi di sudorazione: la sudorazione termica,

* Trad. it. *Miseria dello storicismo*, Feltrinelli, Milano 1975.

** Trad. it. *La società aperta e i suoi nemici*, Armando, Roma 1977.

che è stimolata dall'aumento della temperatura del corpo e che serve ad abbassarla, e la sudorazione «emotiva», che è causata da ansia, timore e imbarazzo. Mentre la sudorazione termica è opera delle comuni cellule secernenti presenti nella semplice ghiandola cosiddetta eccrina, il tipo di sudorazione che è stato descritto come d'origine mentale o emozionale è prodotto da ghiandole di natura e distribuzione molto differenti: queste sono le ghiandole apocrine, in cui l'atto della secrezione implica la liberazione di parte della sostanza della cellula. Le ghiandole apocrine si formano su un'area del corpo più grande di quella in cui persisteranno, e tendono a sparire da tutte le aree tranne quelle chiamate specificamente apocrine (in particolare il cavo ascellare, il pube, l'ano e le regioni mammarie). Contenendo granuli cellulari e acidi grassi, il sudore apocrino è responsabile dell'odore caratteristico del corpo. Secondo un luogo comune ricorrente nella letteratura per ragazzi, i cani possono fiutare il timore, e noi sappiamo per esperienza che certi esseri umani possono percepire con l'olfatto quando altre persone sono imbarazzate: una rivelazione involontaria che oggi viene annullata di solito attraverso l'uso di antitraspiranti.

SURRENALI, GHIANDOLE

Le ghiandole surrenali sono ghiandole endocrine, che liberano cioè i loro secreti direttamente nel sangue o nella linfa, anziché in un dotto che li trasporti altrove. Esse sono sotto vari aspetti ghiandole esemplari perché illustrano con particolare chiarezza un certo numero di caratteri funzionali, evolutivi e di sviluppo tipici delle ghiandole endocrine in generale.

Le due ghiandole o capsule surrenali sono organi pari e simmetrici, un po' più irregolari e diffusi nei vertebrati inferiori; mentre nei mammiferi sono compatti e situati al polo superiore dei reni.

Le surrenali sono ghiandole composite, come molte altre ghiandole endocrine; in effetti i due componenti della ghiandola surrenale nei mammiferi hanno origine e funzione del tutto distinte. La parte interna, o *sostanza midollare*, è fondamentalmente un ganglio modificato del sistema nervoso simpatico. Essa secerne adrenalina (epinefrina) e noradrenalina, gli effetti delle quali sono, comprensibilmente, gli stessi causati dalla stimolazione generale del sistema simpatico: aumento della frequenza cardiaca e costri-

zione dei vasi del cervello, della retina e dei reni, mentre i vasi della muscolatura scheletrica tendono a dilatarsi. Gli effetti psicologici sono familiari a persone che abbiano subito iniezioni di anestetici locali dal dentista. Spesso infatti gli anestetici locali, per prevenire emorragie, contengono adrenalina in quantità sufficiente a dare al paziente apprensione, irrequietezza e ansia, oltre a quelle che provoca già normalmente la poltrona del dentista.

Lo strato più esterno della ghiandola surrenale, la *sostanza corticale*, si forma nell'embrione dalla prima serie di tubuli renali a formarsi nella vita, il cosiddetto pronefro. La sostanza corticale – la cui ablazione, a differenza della midollare, determina la morte dell'organismo – si occupa della regolazione dei minerali nel corpo, specialmente dei sali di sodio. L'ablazione della corteccia surrenale – o comunque la sua distruzione in conseguenza di malattie o di traumi – determina una rapida perdita di sali. Gli effetti possono essere fatali se non si iniettano al paziente i secreti naturali della ghiandola (tra cui aldosterone, corticosterone, idrocortisone o cortisolo, e altre sostanze analoghe) o sostanze che abbiano gli stessi effetti di queste. Poiché tra i sintomi dovuti all'assenza dei secreti della corteccia surrenale ci sono un indebolimento generale e una diminuita resistenza allo stress, si presume in generale che i corticosteroidi secreti dalla corticale siano essenziali per un normale funzionamento dell'organismo, garantendo soprattutto l'integrità dei tessuti scheletrici e di sostegno e la resistenza allo stress.

La parte della sostanza corticale che secerne il cortisone e sostanze simili reagisce a un secreto dell'ipofisi, l'adrenocorticotropina o ormone adrenocorticotropo (ACTH). Quando la corticale è sana, un'iniezione di ACTH per accrescerne la produzione è preferibile all'iniezione degli stessi ormoni corticali. I corticosteroidi vengono talvolta chiamati «anabolici» perché determinano un incremento dell'anabolismo e assunti in alte dosi possono determinare uno sviluppo considerevole della muscolatura: una proprietà da cui traggono vantaggio atleti come i sollevatori di pesi, specialmente in paesi in cui le vittorie sportive vengono offerte a dimostrazione della superiorità del loro regime politico.

TASSONOMICA, UNITÀ

L'espressione unità tassonomica (o gruppo tassonomico, o *taxon*) è una denominazione generica per indicare un gruppo classificatorio o una categoria tassonomica a prescindere dal rango, anche se con la connotazione extra di validità nel senso che definiremo più avanti. Un esempio di termine classificatorio che *non* sia un'unità tassonomica è *Invertebrata*, gli invertebrati: il termine può essere considerato una descrizione o un commento, ma non un *taxon*. Lo stesso vale per il termine aristotelico, da molto tempo caduto in disuso, di *Sanguinea* (animali sanguigni), per la grande varietà di animali che hanno in comune solo il fatto di avere sangue rosso.

Il sistema di classificazione biologica forma una gerarchia, e questa è una forte prova a favore della teoria dell'evoluzione. L'unità tassonomica genuina più vasta in questa gerarchia è il «regno» (*regnum*) di Linneo, come il regno animale o il regno vegetale; le unità tassonomiche minori sono descritte e commentate qui di seguito.

Un *phylum* o *tipo* comprende organismi con un progenitore comune aventi lo stesso piano morfologico fondamentale, come i cordati o gli artropodi (questi ultimi comprendono fra gli altri organismi insetti, crostacei, miriapodi, chilopodi, scorpioni, ragni e granchi reali).

Nella gerarchia segue poi la *classe*. Le classi sono i rami più grandi dell'albero gigantesco rappresentato da un *phylum*. Il *sub-phylum* dei vertebrati, per esempio, è composto dalle seguenti classi: pesci, anfibi, rettili, uccelli e mammiferi. Le varie classi di animali si differenziano molto l'una dall'altra per abbondanza e varietà, mentre, a quanto possiamo giudicare, l'*ordine*, che forma la successiva unità tassonomica, presenta la stessa statura nell'in-

tero regno animale. Non è possibile definire con precisione quale grado di affinità giustifichi la riunione di vari animali in un ordine, anche se tale affinità è ovviamente maggiore di quella che unisce i membri di una singola classe. È una cosa che è più facile «sentire» che giustificare, e gli esempi che seguono illustrano il livello di affinità cui si mira: balene e delfini, da un lato, formano l'ordine dei cetacei, mentre dall'altro foche e otarie, leoni di mare e trichechi formano l'ordine dei pinnipedi. Questi animali, ovviamente, sono tutti mammiferi, ma anche per gli uccelli si può illustrare lo stesso principio, anche se non esistono prove rigorosamente obiettive che aironi e cicogne (ordine ciconiformi) abbiano lo stesso grado di parentela fra loro che trichechi e foche. Anche per un profano è però chiaro che anatre, oche e cigni dovrebbero formare un ordine (quello degli anseriformi) e aquile, avvoltoi e falchi un altro (quello degli accipitriformi).

I tre ranghi successivi nella gerarchia sono generi, specie e singoli organismi. Un *genere* comprende animali affini fra loro nel senso in cui lo sono leone, tigre, leopardo e giaguaro; quando questi animali vengono considerati separatamente, li si assegna ciascuno a una specie a sé. Così nella classificazione binomia di Linneo, e nella terminologia della Zoological Society di Londra, i quattro grandi felini appena menzionati, altrettanti membri del genere *Panthera*, sono assegnati alle rispettive specie *Panthera leo*, *Panthera tigris*, *Panthera panthera* e *Panthera jaguaris*.

In un qualche periodo della sua vita chiunque si definisca un biologo dev'essersi rotto la testa sul «problema della specie», ossia il problema di definire l'unità tassonomica in termini applicabili a tutte le specie. Il problema è almeno in parte logico-filosofico e scaturisce dal bisogno di conciliare la nozione dell'appartenenza di un individuo a una specie con l'inclinazione del genetista a definire una specie in funzione di una configurazione caratteristica di geni. Questo è un problema reale: un tassonomista desidera poter dire di qualsiasi organismo che è membro di una determinata specie: un giudizio che non gli sarà facile a meno che egli non sia già pervenuto, a prezzo di grandi sforzi mentali, alla nozione di una specie come un insieme di punti in uno spazio di caratteri n -dimensionale.

Il dilemma può essere illustrato con l'esempio di un produttore di dolci della Pennsylvania che vende cioccolatini in varie con-

fezioni distinte: la confezione Filadelfia ha i seguenti sapori dichiarati in percentuale: menta (50 per cento), caffè (20 per cento), arancia (20 per cento), pera (= acetato di amile, 10 per cento), mentre la confezione Pittsburgh ha gli stessi sapori allelici nelle percentuali di 40, 30, 20 e 10. Data questa definizione statistica della frequenza dei sapori nelle varie confezioni, non potremmo dire con sicurezza per nessun cioccolatino se proviene dall'una o dall'altra confezione; eppure proprio un compito simile è quello che deve affrontare il tassonomista di un museo quando si tratta di esprimere un giudizio sull'appartenenza a una specie.

Se si definiscono le specie, come vorrebbero alcuni genetisti di popolazioni, sulla base di frequenze geniche, si potranno assegnare a specie solo *popolazioni* di animali. La definizione di una specie sulla base della genetica di popolazioni non è in realtà una cosa tanto lontana dal senso comune. Una distribuzione distintiva delle frequenze geniche implica che, in virtù di un qualche mezzo – genetico, geografico o comportamentale – la specie goda di una certa misura di isolamento riproduttivo, senza di cui quella distribuzione distintiva del pool genico della specie andrebbe ben presto perduta.

Il fine di una classificazione è quello di fornire una nomenclatura e di conferire un ordine. Tutte le classificazioni si fondano ovviamente sull'accertamento di gradi di affinità; se fosse possibile uno schema di classificazione del tutto arbitrario – se per esempio un'unità tassonomica arbitraria composta da «animali con faccia» o da «animali che volano» dovesse riunire invariabilmente in un gruppo animali legati fra loro anche in *altri* modi – avremmo una ragione reale per mettere in discussione l'ipotesi di rapporti filogenetici. Non è però possibile formulare giudizi tassonomici tanto arbitrari: se noi classifichiamo animali sulla base della loro affinità, lo schema risultante è conforme a quella disposizione gerarchica che è intelligibile solo sulla base della premessa della discendenza con modificazioni. Consideriamo l'esempio della classificazione di un bipede a noi familiare.

Phylum:	Chordata
Subphylum:	Vertebrata
Classe:	Aves
Ordine:	Anseriformes

Genere: *Anser*
Specie: *Anser disneyi*
Membro: Paperino

Perché un'unità tassonomica sia valida, dev'esserne membro a sua volta un progenitore comune dei suoi membri (o il suo rappresentante moderno più prossimo); in caso contrario l'unità tassonomica sarà giudicata polifiletica (ossia comprendente due o più linee genealogiche). Un esempio in proposito ci è fornito dalla classe dei rettili: gli animali viventi o estinti classificati come rettili appartengono a due linee genealogiche principali, una che conduce ai mammiferi e l'altra agli uccelli: una dicotomia che ebbe inizio già negli anfibi.

In linea di principio non c'è alcuna ragione per cui non dovrebbe esistere un'unità tassonomica inferiore in gerarchia alla specie: in altri termini, una popolazione di animali con un corredo genetico distinto, la quale formi una sottoclasse della specie e goda di una misura di isolamento riproduttivo che ne conservi i caratteri razziali. Per popolazioni isolate sul piano riproduttivo da barriere invalicabili possiamo parlare propriamente di «razze»: come nel caso di razze insulari di topi o di altri piccoli animali. Se l'uso fosse confinato a questo contesto non causerebbe problemi, ma la parola razza ha offerto purtroppo uno strumento di grande attrazione ad avventurieri illiberali in campo politico o culturale, consentendo loro di sostenere la presunta o postulata inferiorità o superiorità innata di qualche razza umana. Quest'uso del termine razza non ha alcuna giustificazione scientifica. Nessuna comunità umana libera combina un corredo genetico distinto con un grado di isolamento riproduttivo sufficiente a conservarlo.

Se tutti gli ebrei, per esempio, escludessero rigorosamente il matrimonio con persone non appartenenti alla loro religione, si potrebbe dire che un qualche grado di isolamento riproduttivo è stato conseguito con mezzi culturali. Siamo però molto lontani da una tale situazione, tanto che l'uso del termine «razza» con riferimento agli ebrei è così inopportuno ed erroneo quanto lo sarebbe l'espressione «la razza insulare» con riferimento ai britannici. La Gran Bretagna è stata infatti oggetto di ripetute invasioni e immigrazioni a partire dall'invasione originaria per opera degli Angli nel V e VI secolo; la sua popolazione, politicamente parlando, è

non meno ibrida ed eterogenea per origine di alcun'altra. Gli inglesi non sono più puri della loro lingua, che è mirabile per la molteplicità e varietà delle sue radici.

La nostra raccomandazione è perciò quella di abbandonare il termine «razza» tranne che in quei testi biologici tecnici in cui il suo uso risulti chiaramente giustificato e in cui la sua tassonomia possa essere apprezzata criticamente.

TELEOLOGIA

«Ci sono fondamentalmente quattro cause: [la prima è] ciò in vista del quale in quanto fine [una cosa esiste]». Così scrisse Aristotele nel *De generatione animalium* [715a]. La teleologia è la «scienza» delle cause finali e ha a che fare col loro accertamento e la loro interpretazione. Le cause finali hanno una speciale importanza in biologia perché, avendo esse un carattere adattivo, l'evoluzione ha operato spesso come se delle cause finali esercitassero una sorta di trazione causale, come ritenne possibile Aristotele.

Noi crediamo che, con l'importante precisazione che facciamo più avanti, non ci sia nulla di intrinsecamente urtante nella nozione di teleologia. È follia o ignoranza negare che lo scopo dei nidi sia quello di proteggere i piccoli relativamente inermi di uccelli e mammiferi, e che lo scopo dell'amnio sia quello di fornire agli embrioni dei vertebrati terrestri l'ambiente acquatico di cui hanno bisogno per svilupparsi. Lo scopo dei denti, inoltre, ora possiamo rivelarlo, è la masticazione; quello degli occhi è vedere, e delle orecchie udire.

Che cosa c'è dunque di sbagliato nella teleologia, e perché i biologi la rifiutano con tanta avversione? Quel che c'è di sbagliato nella teleologia, quale la concepì esplicitamente Aristotele, è l'uso di fini come spiegazioni causali di fenomeni, come se il bisogno di una qualche struttura biologica fosse una ragione sufficiente per la sua origine.

La teleologia si è insinuata in qualche misura nella teoria dell'evoluzione e nella sociobiologia, nella forma dell'errore di pensiero che John Maynard Smith designa come panglossismo. Un esempio tipico è l'affermazione che i mutamenti evolutivi si verificarono «per il bene delle specie», e che questa spiegazione sia sufficiente a spiegare perché si verificarono.

Per evitare queste connotazioni inaccettabili, è stato coniato l'eufemismo «teleonomia». La teleonomia è una teleologia purgata di tutte le sue pretese di fornire spiegazioni causali, e ristretta esclusivamente a elencare i fini che strutture e attività biologiche soddisfano di fatto. La parola «teleonomia», però, non ha attecchito, forse perché la corruzione della biologia per opera della teleologia non è oggi un pericolo così grave o imminente come si poteva temere un tempo.

TERATOLOGIA

Lo sviluppo embrionale è un processo assai complicato, e molti suoi episodi – fra cui specialmente la formazione dell'asse embrionale – sono estremamente vulnerabili a disturbi. Il processo di sviluppo stesso può combinarsi agli effetti di questi disturbi e amplificarli: così la mancata chiusura del canale neurenterico può condurre a una condizione bifida della spina, cosa che può ingenerare a sua volta altre gravi anomalie. Questi inconvenienti e disavventure embriologici possono avere come conseguenza la nascita di bambini fisicamente menomati e strutturalmente deformi, i cosiddetti «mostri», che sono molto più numerosi di quanto si supponga comunemente.

La classificazione e lo studio di questi embrioni e neonati anormali formano l'oggetto della «teratologia», parola che sembra suggerire l'ambizione di essere considerata una scienza (designazione che questa disciplina in realtà non merita). La formazione di mostri come i fratelli siamesi è un interessante territorio comune condiviso dalla patologia e dall'embriologia, mentre la teratologia non ha fatto luce – come un tempo si sperò – sui processi di sviluppo, e non ci ha dato un aiuto considerevole nell'interpretazione dello sviluppo normale. È più grande il debito della teratologia nei confronti dell'embriologia che viceversa.

TERMINOLOGIA

Benché parte della terminologia biologica sia del tipo funzionale, concreto, che ci attendiamo da una scienza complessa e attiva, una parte troppo grande di essa è un misto di magniloquenza e di assurdità linguistiche. Cominceremo con quel museo degli orrori

filologico che è noto come immunologia. La parola «anticorpo» non vincerebbe un premio a un concorso di bruttura, essendo una parola perfettamente accettabile in una lingua viva. «Antigene» non ha invece niente a suo favore; è noto che gli studenti di medicina si sentono confusi quando la sentono per la prima volta: una reazione che rivela il possesso di una sensibilità più fine di quella che si attribuisce loro comunemente. Ma non attaccheremo una terminologia che nessuno difende. La parola «tolleranza» per designare uno stato specificamente non-reattivo è una parola alquanto modesta perché non si presta alla formazione di parole derivate per mezzo dei suffissi di uso comune nella scienza, e parole come «tollerizzare» e «tollerogeno» hanno solo il pregio sentimentale di tenere in vita una lunga tradizione di inettitudine terminologica in immunologia. Eppure si potrebbe conseguire la serenità mentale facendo ricorso a perifrasi non molto lunghe, fra cui si suggeriscono spontaneamente «rendere tollerante» o «agente che conferisce tolleranza» o «in grado di conferire tolleranza». Questi problemi di sensibilità linguistica sarebbero respinti come pedanterie borghesi da quelle teste calde della sinistra secondo cui questa sorta di schifiltosità è nemica del benessere delle classi lavoratrici.

La complessità di gran parte della terminologia escogitata da biologi nell'Ottocento potrebbe avere, a nostro giudizio, la stessa origine delle tortuose locuzioni quasi-scientifiche dei sociologi moderni: essa fu ispirata soprattutto dal desiderio di impressionare. I biologi di quel tempo non erano molto sicuri della loro scienza, e probabilmente pensavano di non ricevere dal pubblico generale e dai colleghi scienziati la stima loro dovuta. Nell'Ottocento gli scienziati più riveriti erano i fisici e i famosi ingegneri civili che costruivano gallerie, ponti, macchine da guerra e i primi grandi piroscafi; i biologi, come scienziati, erano trattati talvolta con una sorta di condiscendenza contro la quale cercavano di difendersi.

Si potrebbero citare due casi fra tanti: le mobili sporgenze del corpo con cui organismi semplici come l'ameba si spostano sul substrato non potrebbero certo essere scambiate per piedi da chiunque fosse nel pieno possesso delle sue facoltà mentali; non era quindi certo necessario denominarle *pseudopodia* (pseudopòdi, o «falsi piedi», come spiegano i testi elementari). Una commissione internazionale come quella che stabilì la nomencla-

tura di parti del corpo umano potrebbe oggi decretare che questi minuscoli organi venissero chiamati d'ora in poi *podia*. Le stesse considerazioni valgono per la designazione di un elemento riproduttivo nella storia delle fasi vitali di un parassita del lombrico. Con lo stesso tipo di licenza con cui gli antichi poterono discernere nella distribuzione delle stelle in cielo i profili di orse, di cani, di un cigno o di un guerriero, questi elementi riproduttivi furono designati *pseudonavicellæ*. Noi possiamo solo sperare che alla follia nomenclatoria di descrivere questi piccoli elementi riproduttivi «false piccole navi» sia seguita una grande acquisizione di stima di sé da parte dei biologi.

Oggi i sociologi sono considerati in modo molto simile a come lo erano i biologi nell'Ottocento, e questa situazione potrebbe contribuire a scusare la loro raffinata terminologia.

TERMOREGOLAZIONE

Il mantenimento della temperatura del corpo entro limiti idonei alle sue funzioni è noto come termoregolazione. In molti animali questo risultato viene ottenuto per mezzo del comportamento, evitando situazioni che potrebbero rendere l'individuo troppo caldo o troppo freddo. Questa strategia non è ovviamente possibile per animali esposti a un habitat molto vario ed esteso e dotati di una grande libertà di movimento. Per loro – e questo vale specialmente per i vertebrati terrestri – i problemi variano da un animale all'altro, a seconda delle dimensioni e della forma, e vengono risolti in molti modi diversi. Per animali omeotermi molto piccoli il problema è la conservazione del calore; in conseguenza delle loro piccole dimensioni, essi hanno una superficie relativamente grande in proporzione al volume (i toporagni pigmei, per esempio, possono pesare solo 5 grammi in età adulta e hanno un acuto problema di mantenere la loro temperatura corporea, problema che risolvono mangiando di continuo). In animali così piccoli mezza giornata di digiuno può condurre a morte per fame. Essi sono ancor più vulnerabili da piccoli, e questa difficoltà viene superata principalmente per mezzo dell'allattamento e del buon isolamento termico del nido.

Più in generale, però, il vero problema della termoregolazione è quello dell'escrezione di calore, che affligge particolarmente i

grandi mammiferi dalla pelle scura. Questi mammiferi hanno sovente sotto la pelle uno spesso strato di grasso, che aggrava ancor più la difficoltà. Essendo scuri, inoltre, tendono ad assorbire tutta la radiazione infrarossa presente (ogni automobilista ha osservato che una macchina scura esposta alla luce del sole si riscalda più di una macchina chiara). Questi animali abbassano in parte la loro temperatura adottando certi comportamenti: gli ippopotami, per esempio, vivono in parte sommersi. È difficile vedere come potrebbero sopravvivere altrimenti giacché, anche se siamo stati indotti ingannevolmente dall'etimologia a pensare all'ippopotamo come a un cavallo fluviale, in realtà esso è un maiale di fiume, e come tutti i maiali è estremamente grasso. L'elefante africano può accrescere la superficie del suo corpo distendendo le grandi orecchie, e uno degli spettacoli più gradevoli durante una visita allo zoo in un pomeriggio caldo è l'evidente piacere provato da un elefante quando viene annaffiato con acqua fredda.

Gli animali pelosi, come cani e conigli, che hanno poche ghiandole sudoripare riescono nondimeno a trarre vantaggio dall'effetto refrigerante dell'evaporazione dell'acqua: essi hanno una considerevole perdita di calore dai polmoni attraverso la respirazione, perdita di calore che i cani integrano per mezzo dell'evaporazione dalla lingua nel loro ansito caratteristico. Quanto ai conigli, un contributo notevole alla termoregolazione è dato dalle orecchie lunghe e relativamente vascolarizzate. Gli esseri umani praticano la termoregolazione sudando, e possono controllare la loro temperatura per mezzo di vari accorgimenti esosomatici, come indumenti e abitazioni.

TESSUTI, COLTURA E CONSERVAZIONE DI

Il procedimento per mezzo del quale si conservano cellule viventi al di fuori di un organismo in un mezzo nutritizio libero da germi si chiama coltura di tessuti. Se i mezzi colturali sono stati scelti in modo idoneo, le cellule possono continuare il loro normale funzionamento fisiologico: il muscolo cardiaco continuerà a contrarsi ritmicamente, le cellule capaci di divisione si divideranno e le cellule nervose continueranno a produrre quei fini prolungamenti lungo i quali, *in vivo*, si propagano gli impulsi nervosi.

La tecnica della coltura dei tessuti fu introdotta da Ross Gran-

ville Harrison della Yale University (1870-1959), uno fra i massimi biologi americani. Egli coltivò frammenti del sistema nervoso centrale di rane in gocce di linfa e poté osservare la crescita di fibre nervose. Per molti anni, da allora in poi, «colture in goccia pendente» furono il mezzo di routine per la coltivazione dei tessuti; una goccia di liquido nutritizio veniva diffusa su un vetrino di copertura e rovesciata su un vetrino di base concavo, in modo da facilitare l'ispezione dall'alto. Di solito la tensione superficiale era sufficiente a mantenere in posto la goccia, intento facilitato dall'uso nel mezzo nutritizio di un liquido soggetto a coagularsi, come plasma sanguigno o linfa. Quando si usavano cellule capaci di dividersi (le cellule del tessuto connettivo del cuore di un embrione di pollo erano una delle scelte preferite), le cellule continuavano a dividersi; una volta che il tessuto era cresciuto a sufficienza, poteva venire diviso in due, e ogni metà poteva essere subcoltivata.

Alexis Carrel e il suo collega Albert Ebeling, del Rockefeller Institute for Medical Research, lavorarono con colture di tessuti su vasta scala, usando quello che, col senno di poi, ci appare un rituale inutilmente elaborato. Quel rituale creò l'illusione che la coltura di tessuti fosse una cosa troppo esoterica e complicata per poter essere usata abitualmente da biologi sperimentali che lavoravano in comuni laboratori; ma, come accade di solito, la familiarità con i procedimenti tentò gli sperimentalisti a essere meno cauti. Un rischio che gli innovatori avevano badato a non correre era quello di consentire ai frammenti di tessuto da coltivare di scendere alla temperatura ambiente prima di essere espantati nei loro mezzi di coltura alla temperatura corporea. L'esperienza dimostrò ben presto che era una precauzione inutile. I frammenti di tessuto rimangono vivi anche a temperatura ambiente purché siano immersi nel tipo di liquido che ne sostiene la crescita nella coltura di tessuto. La conservazione di frammenti di tessuto per un giorno o due in frigorifero prima della coltura finì quindi col divenire una pratica del tutto comune. Alternativamente, si potevano preparare delle colture per l'incubazione e tenerle a temperature di 5-10 gradi centigradi finché non veniva il momento di metterle in un'incubatrice al calore del corpo, dopo di che cominciava la crescita.

Il mezzo di coltura usato più spesso era un misto di plasma di

linfa o di sangue e di estratto di tessuto embrionale. La linfa o il plasma formavano un coagulo di fibrina particolarmente adatto per la migrazione di cellule verso l'esterno, e l'estratto di embrione conteneva tutte le sostanze nutritizie richieste per mantenere il movimento cellulare e la divisione delle cellule per vari giorni.

In un primo tempo si ritenne che queste colture di tessuti fossero «immortali», o, più esattamente, che le linee di discendenza a cui tali divisioni delle cellule davano origine fossero indeterminate. Studi condotti con maggior cura hanno dimostrato che una coltura di cellule *normali* (cellule che non abbiano subito per una qualche ragione una trasformazione in cellule maligne) ha una durata di vita determinata e muore dopo un numero di divisioni finito, che dipende dall'età cronologica in vivo che il tessuto aveva quando ebbe inizio la coltura. Il famoso e longevo ceppo Rockefeller di fibroblasti di cuore di pollo dev'essere stato perciò rinnovato dall'immissione accidentale di nuove cellule nel corso del processo di coltivazione o forse dall'estratto di embrione usato per nutrire le colture. Ovviamente, le colture possono essere state rinnovate di tanto in tanto da assistenti che non volevano incorrere nell'accusa di aver perduto un ceppo che stava conseguendo rapidamente lo status di una gloria dell'istituto.

Gli inizi della coltura di tessuti furono sotto certi aspetti insoddisfacenti: coloro che la praticavano furono così incantati dalla bellezza delle cellule coltivate e dal miracolo di poterle usare che non le utilizzarono per studiarle. Ne risultò una tendenza a non considerare la coltura di tessuti ai fini dello studio di problemi scientifici seri, snobbandola come un hobby. Nonostante queste critiche si imparò molto di interessante sul comportamento di cellule, specialmente sui meccanismi del movimento e della divisione delle cellule e su fenomeni come la pinocitosi, l'imbibizione da parte di cellule di piccole goccioline di liquido dal mezzo esterno. Le colture di tessuti, inoltre, posseggono alcune qualità simili a quelle di organismi molto istruttive. Si osservò, per esempio, che quando una coltura di tessuti era cresciuta sino a raggiungere le sue dimensioni massime nella forma di un disco circolare di cellule, alla rimozione di un frammento di forma simile a quella di una fetta di torta seguiva una rigenerazione di tessuto finché il vuoto veniva colmato e la circonferenza della coltura ripristinata, fenomeno che rimase inspiegato finché non si riconobbe il processo

dell'inibizione per contatto. Tutti questi progressi furono resi possibili dalla facilità con cui le colture in goccia pendente si prestano all'osservazione con microscopi di grande potenza.

Ci fu una grandissima rivoluzione nei metodi di coltura quando si passò alla coltura di cellule con tecniche essenzialmente batteriologiche: negli Stati Uniti e in Canada si cominciarono a coltivare cellule in colture liquide, con le singole cellule non più necessariamente fissate a un substrato come la superficie di vetro o di plastica del recipiente di coltura. Questo metodo si rivelò particolarmente idoneo per la coltura di virus in vista della preparazione di vaccini, o per raccogliere prodotti cellulari come l'interferon. La coltura di tessuti entrò così in un'era di tecnologia di semiscala: si parlò addirittura della coltivazione di bistecche in vitro. Una breve riflessione sull'apporto di sostanze nutritizie in relazione alla produzione di cellule dimostra che quest'ambizione sarebbe del tutto irrealistica, o piuttosto che quest'obiettivo può essere conseguito molto meglio con metodi tradizionali come quello di nutrire i bovini con cereali, consentendo loro in tal modo di convertire proteine vegetali in proteine animali.

Col crescente successo del trapianto d'organi e di tessuti, la conservazione avanzò in primo piano nei problemi tecnici di biologia applicata. I tessuti si prestano in modo assai vario a essere conservati: non è una sorpresa apprendere che il tessuto più robusto e resistente del corpo è lo strato più esterno della pelle, l'epidermide. La pelle può essere conservata per una settimana in frigorifero, con la semplice precauzione di evitare di farla essiccare. Una conservazione per periodi di mesi richiede una maggiore attenzione ai particolari. Nel National Institute for Medical Research a Londra si scoprì per caso che la glicerina è notevolmente appropriata per proteggere i tessuti contro i danni che potrebbero altrimenti ricevere dalla surgelazione. Quando perciò si impregnano fettine sottili di pelle come quelle usate per i trapianti con un miscuglio, al 15 per cento in volume, di glicerina con una soluzione salina bilanciata, è possibile conservarle per mesi in un recipiente a chiusura ermetica a -80°C , o per un periodo di anni in azoto liquido. Da osservazioni come queste nacque una nuova branca della biologia chiamata criobiologia, dal greco *kryos*, che significa gelo.

Purtroppo la conservazione di organi come cuore e reni è molto più difficile e pone problemi che non sono stati ancora risolti (an-

che se, senza dubbio, una soluzione sarà trovata prima o poi). Relazioni sulla pratica dell'ipotermia su mammiferi di piccole dimensioni, come ratti e criceti, hanno condotto all'assunto troppo facile che siano già state padroneggiate le tecniche per tenere in vita a basse temperature organismi di dimensioni così grandi come gli esseri umani. Non è però così. A nostro giudizio il denaro investito per conservare la vita umana in condizioni di temperatura molto bassa è denaro sprecato, e le somme in gioco sono abbastanza grandi da poter essere considerate una punizione per la credulità e vanità di cui gli aspiranti a questa forma di ibernazione artificiale danno prova.

Dopo la conservazione mediante surgelazione, l'innovazione successiva che ci si deve attendere è quella mediante essiccazione, un'ambizione alimentata dall'esempio piuttosto speciale del crostaceo *Artemia salina*, le cui uova possono essere conservate in un essiccatore sotto vuoto in presenza di pentossido di fosforo, ossia in condizioni di siccità totale. Finora, però, non si è andati oltre la scelta della parola *xerobiologia* come nome idoneo per designare questo nuovo settore dell'attività umana.

TOSSINE

La parola «tossina» si riferisce di solito a una sostanza velenosa di origine biologica che di norma è tossica in conseguenza della sua azione fisiologica. Le tossine sono più velenose di vari ordini di grandezza rispetto ai veleni chimici convenzionali (la tossicità è misurata dalla dose in relazione al peso corporeo che è necessaria per uccidere o intossicare metà – «la dose letale mediana» – di tutti gli organismi esposti ad essa). I microrganismi che producono sostanze tossiche per altri microrganismi (ossia gli antibiotici) formano una classe a sé; i più noti produttori di sostanze tossiche per animali e per l'uomo sono batteri, funghi, serpenti e alcuni pesci.

Le tossine prodotte da batteri sono di due tipi: le esotossine o tossine extracellulari sono liberate dalla cellula batterica nell'ambiente, e sono particolarmente virulente quando i batteri che le generano invadono i tessuti. Sono tali le tossine prodotte dagli organismi che provocano la dissenteria, la gangrena gassosa e il botulismo. Il botulismo viene contratto normalmente mangiando cibi in cui si sia sviluppato l'organismo, poiché l'agente che lo provoca, il

Clostridium botulinum, non si moltiplica nei tessuti. Quando le tossine sono parte integrante della struttura batterica, sono chiamate endotossine o tossine intracellulari, e vengono liberate solo quando la cellula si disintegra. Queste endotossine, composte da proteine, polisaccaridi e grassi, sono probabilmente le sostanze chimiche più complesse che si conoscano.

Le tossine prodotte da batteri, funghi, pesci e serpenti non agiscono in un modo solo, bensì in una varietà di modi diversi. Molte sono di natura enzimatica, e alcune agiscono promuovendo o impedendo la coagulazione del sangue. I veleni di serpenti appartenenti a questa varietà hanno qualche uso clinico nel trattamento dell'emofilia. Molte tossine causano violenti dolori addominali, accompagnati da nausea e vomito. Altre, molto apprezzate per questa loro proprietà, suscitano allucinazioni; molte sono in generale neurotossiche. La cicuta, per esempio, causa una debolezza muscolare che conduce a paralisi degli arti e infine a paralisi respiratoria e morte. I sintomi dell'avvelenamento da stricnina sono familiari ai lettori di romanzi gialli, che sono stati colpiti nell'apprendere che essa provoca convulsioni toniche (contrazioni muscolari che durano a lungo, anziché convulsioni «cloniche» regolarmente ripetute), rigidità muscolare, difficoltà respiratorie, paralisi del cuore e morte.

Le tossine possono essere prodotte da animali di ogni sorta. Si dice che la tossina prodotta da un tetraodontide (pesce palla) giapponese sia la sostanza più velenosa che si conosca, primato riconosciuto in precedenza alla tossina del *C. botulinum*. Il pesce palla viene nondimeno mangiato in Giappone dopo essere stato preparato da cuochi esperti. I primi sintomi prodotti dalla tossina sono un formicolio, poi paralisi delle labbra e della lingua accompagnati da difficoltà nella deglutizione. Si dice che provare sintomi in questo grado sia un divertimento per giovani amanti di nuove esperienze in Giappone. Non esiste alcun antidoto noto, cosicché è consigliabile non spingersi oltre; non c'è alcuna ragione filosofica valida per consentire ai sintomi di procedere oltre, fino a uno stordimento generale, alla paralisi muscolare e alla morte.

TRAPIANTO

Il trapianto, ossia il trasferimento di un organo o di un arto o di

tessuti o cellule da un organismo all'altro, è un procedimento utile in orticoltura e in arboricoltura. Negli esseri umani e in altri vertebrati esso è complicato da difficoltà chirurgiche e a volte fisiologiche e dall'intrusione di fattori immunologici che hanno a che fare con l'incompatibilità.

Il trapianto di pelle illustra tanto il procedimento quanto la terminologia ad esso associata. Benché una lesione superficiale della pelle guarisca spontaneamente in modo rapido ed efficace, nessun processo rigenerativo è in grado di sanare una perdita dell'intero spessore della pelle, per esempio in conseguenza di un'ustione o di un altro incidente. La guarigione naturale implica contrazione, l'avvicinamento dei margini della ferita per mezzo di un processo che spesso causa deturpazione e deformazioni che menomano la funzione del tessuto circostante. L'unico rimedio definitivo è un trapianto di pelle, un procedimento in cui una sottile fettina di pelle, tagliata in un piano parallelo al piano della pelle stessa, viene tolta da una parte del corpo e trapiantata là dove è venuta a mancare. Un tale trapianto, per l'esecuzione del quale è sufficiente una tecnica chirurgica del tutto elementare, attecchirà senza difficoltà, abolendo la perdita costante di liquidi corporei dalla ferita e diminuendo di molto il rischio di infezione. L'area donatrice guarisce senza bisogno di assistenza, e lo strato di pelle superficiale viene risanato dalla crescita a partire dalle radici dei peli più un po' di crescita dai margini verso l'interno. Pur richiedendo esperienza, abilità e giudizio, il procedimento chirurgico non è considerato difficile.

Nel caso descritto il donatore del trapianto è anche il ricevente: in questo caso si tratta di un autotrapianto. Problemi gravi insorgono quando l'area di pelle distrutta è così grande che non rimane abbastanza pelle sana da trapiantare sull'area della lesione. La soluzione ovvia – l'uso di un allotrapianto, ossia di pelle donata da un'altra persona – è esclusa in quanto i tessuti estranei vengono riconosciuti come tali dai riceventi e rigettati entro una settimana o due per opera delle difese immunologiche dell'organismo.

Le difese immunologiche, come qualsiasi altra capacità dell'organismo, si sviluppano e maturano nel corso della vita. Esse non sono presenti nell'embrione, come conferma il fatto che trapianti da un embrione all'altro non incontrano alcuna difficoltà; si possono addirittura saldare assieme due embrioni a formare un orga-

nismo composto (una chimera), che, avendo quattro genitori, viene detto tetraparentale: un'unione incompatibile di greco e latino.

Nella pratica chirurgica l'incompatibilità immunologica è combattuta facendo ricorso all'uso di *agenti immunosoppressori*. Questi sono farmaci che, a dosi abbastanza alte, sospendono la risposta immunologica, e specialmente quella sua parte che è nota come immunità cellulomediata, per periodi abbastanza lunghi da consentire l'accettazione del trapianto. È una cosa notevole che questo procedimento sia possibile in generale. In effetti l'uso di allotrapianti di reni è ormai entrato a far parte della comune pratica chirurgica, tanto da non essere più considerato un procedimento sperimentale; e anche i trapianti di cuore e di fegato sono avviati a conseguire lo stesso riconoscimento.

Il successo dei trapianti clinici è il risultato di una collaborazione stretta e particolarmente feconda fra laboratorio e corsia; questa è stata resa possibile dal temperamento ottimista e avventuroso dei chirurghi, i quali non solo hanno dimostrato una grande disponibilità a padroneggiare la teoria immunologica, che ha una rilevanza diretta per il loro lavoro, ma hanno a volte addirittura contribuito al suo progresso. Il fattore limitante nei trapianti clinici non è mai stata l'abilità dei chirurghi, i quali sono sempre stati tecnicamente all'altezza dei loro compiti. A volte sono barriere fisiologiche a rivelarsi insuperabili: il trapianto del cervello, per esempio, non è un procedimento realizzabile. Né ci si deve attendere molto da trapianti di segmenti di nervi periferici: diversamente dai trapianti di reni o di cuore, questi non sono però di solito indispensabili per la sopravvivenza del paziente.

Dovremmo chiarire, egualmente, che il trapianto non è affatto limitato a organi e tessuti solidi: da qualche tempo è venuto rapidamente in primo piano il trapianto di popolazioni di cellule (la trasfusione di sangue è l'esempio più antico e meglio noto). Fra i benefici che ci si devono attendere dall'ingegneria cellulare sono la compensazione di deficienze immunologiche e di difetti di organi emopoietici. E grazie all'ingegneria cellulare potrebbe esser reso possibile il trapianto di sostanze secrete di ormoni.

Per molto tempo il trapianto di organi – particolarmente del cuore – fu disapprovato da personaggi pubblici che si arrogavano la responsabilità di essere la coscienza del mondo e i portavoce di una minoranza ben pensante timorata di Dio. Queste persone con-

sideravano il trapianto poco dignitoso e moralmente sbagliato ed erano fautrici invece della morte naturale. La preferenza umana per la vita è però così profondamente radicata e di così antica data che questi portavoce non sono riusciti a far prevalere il loro punto di vista. Noi ci arrischiamo a predire che se essi stessi fossero vittime di malattie per le quali il trapianto fosse l'unico rimedio possibile, si sottometterebbero probabilmente all'indegnità di accettarlo.

TRASFORMAZIONI

Come abbiamo spiegato nella voce **FORMA E MATEMATICA**, il metodo delle trasformazioni rende possibile l'analisi matematica del mutamento di forma se non la rappresentazione matematica della forma stessa. Il metodo fu usato per la prima volta in un contesto zoologico da Sir D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948), lo storico naturale e classicista che occupò per sessantacinque anni la cattedra di storia naturale all'Università di Dundee e in seguito al Saint Andrews. Egli tentò di comparare la figura di organismi, non pezzo per pezzo o carattere per carattere ma nella sua *totalità*. Un singolo esempio illustrato alla figura 7 rende intuitivamente chiaro il carattere del metodo: è la trasformazione che assimila la figura complessiva dei pesci *Diodon* (pesce istrice, a sinistra) e *Orthogoriscus* (*Mola*, pesce luna, a destra). Vari altri esempi si trovano nel famoso saggio di Thompson *On Growth and Form* (Cambridge 1917):* due sono presentati alle figure 8 e 9.

La matematica della piccola avventura morfologica di Thompson ha vari punti interessanti, ma prima di proporli dovremmo chiarire alcuni aspetti tecnici. Tutti i principi del metodo delle trasformazioni possono essere spiegati con riferimento a un sistema piano o bidimensionale, e a questo sistema ci limiteremo. Qualsiasi figura piana può essere rappresentata come un insieme di punti, ciascuno dei quali corrisponde a una coppia di numeri che rappresentano un paio di valori su due coordinate x e y ; l'appartenenza all'insieme è specificata da una formula o funzione algebrica da cui possono essere letti valori corrispondenti di x e y .

* Trad. it. ridotta *Crescita e forma*, Boringhieri, Torino 1969.

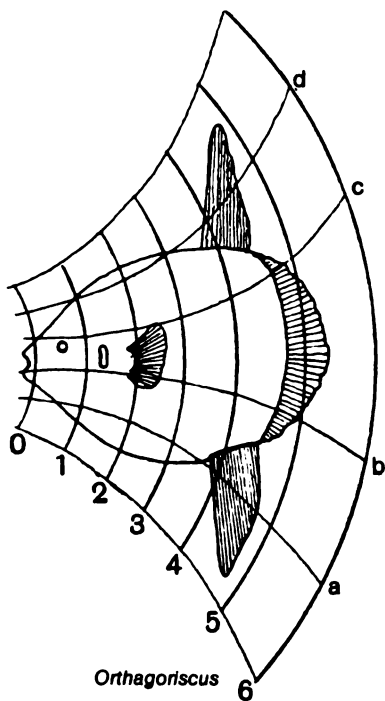
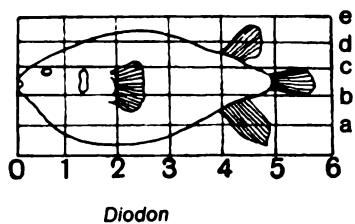


Figura 7

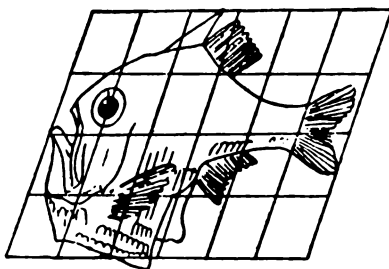
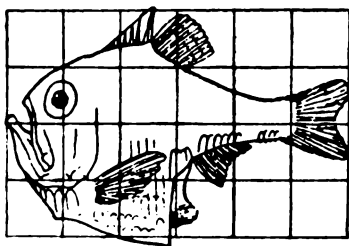


Figura 8

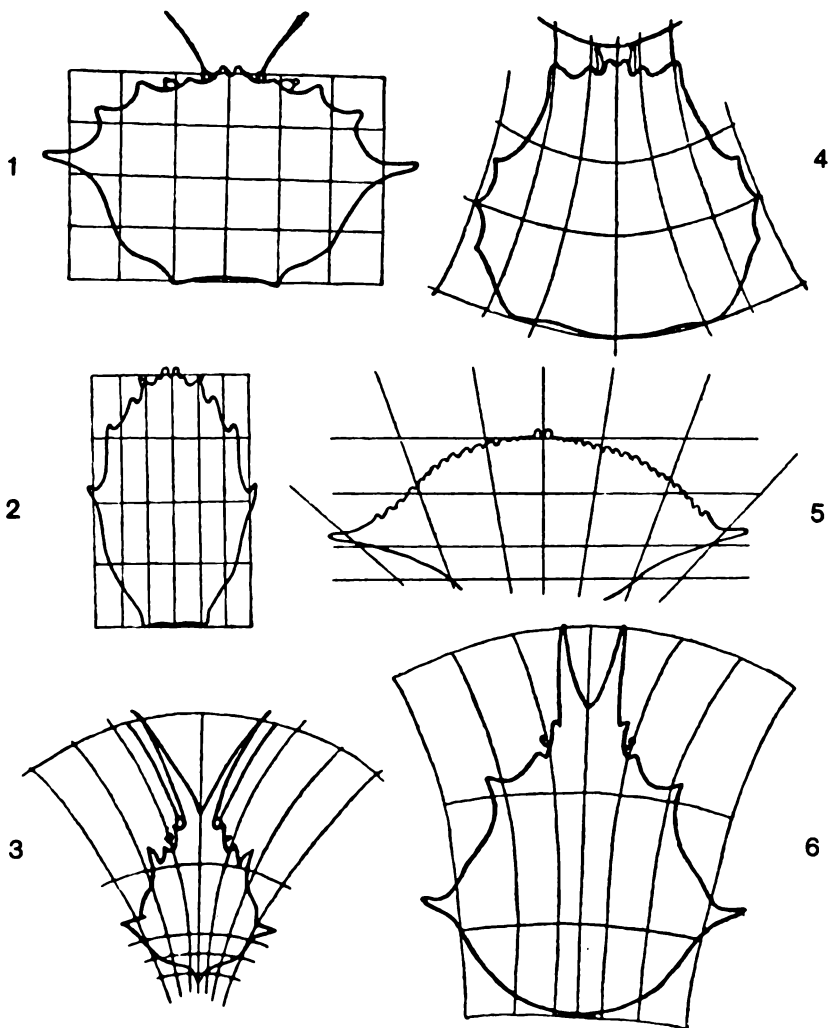


Figura 9

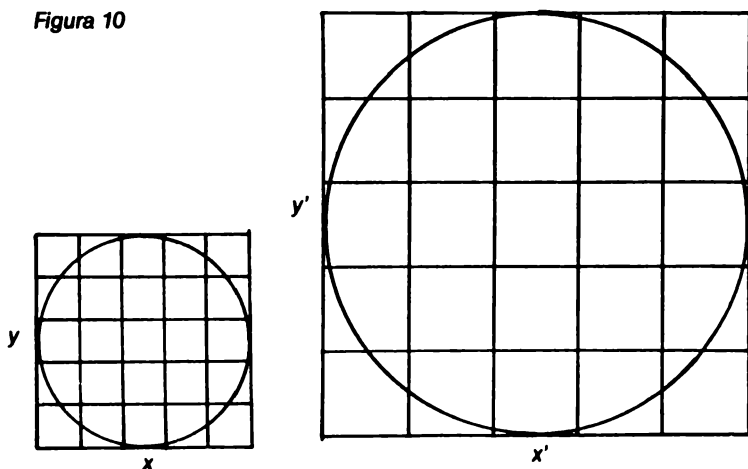
Carapace di vari granchi. 1 *Geryon*; 2 *Corystes*; 3 *Scyramathia*; 4 *Paralomis*; 5 *Lupa*; 6 *Chorinus*

Possiamo, per esempio, escogitare una funzione

$$y = \text{cerchio}(x). \quad (1)$$

Quest'espressione può essere interpretata nel senso che x e y siano connessi fra loro in modo che i loro valori, quando vengano rappresentati con punti su una carta convenzionale per grafici, definiscano la circonferenza di un cerchio, come si vede qui sotto a sinistra. Supponiamo ora di voler trasformare questo cerchio in un cerchio più grande, come quello a destra. Ci sono due modi per farlo: per mezzo di un mutamento di punti o per mezzo di un mutamento di coordinate (in pratica i due modi sono equivalenti).

Figura 10



Per rappresentare la trasformazione come un mutamento di coordinate – come un mutamento di spazio piuttosto che come un mutamento di punti – dobbiamo, nella maniera di D'Arcy Thompson, escogitare un diverso sistema di riferimento spaziale. Se le nuove coordinate hanno una lunghezza doppia di quella originaria, i due sistemi di riferimento spaziale sono come nei diagrammi della figura 10. La relazione fra le vecchie coordinate $[x, y]$ e le nuove $[x', y']$ è dato dalle equazioni

$$x' = 2x, \quad y' = 2y. \quad (2)$$

La conseguenza di ciò è che, se rappresentiamo la formula del vecchio cerchio sulla nuova griglia, otteniamo un cerchio dalla superficie quattro volte maggiore rispetto a quella del cerchio originario. Oppure possiamo rappresentare la trasformazione come un mutamento di punti e tenere la vecchia funzione (1) e la vecchia griglia, sostituendovi semplicemente i nuovi punti x' e y' , così che la formula (1) diventa ora

$$\frac{y'}{2} = \text{cerchio} \left(\frac{x'}{2} \right) \quad (3)$$

Se, ora, rappresentiamo l'equazione (3) sulla griglia originaria (a sinistra) otterremo lo stesso risultato che se rappresentassimo l'equazione (1) sulla griglia trasformata (a destra).

Le equazioni (2), che sono la chiave di questa semplice trasformazione e che rappresentano il vecchio cerchio nel nuovo, sono note, dal loro uso in cartografia, come *formule di corrispondenza o equazioni della carta*.

Anche se ci limitiamo ai disegni bidimensionali del contorno a cui D'Arcy Thompson confinò necessariamente la sua analisi, si può escogitare una funzione algebrica esplicita come la (1) per definire il contorno di un pesce o qualsiasi altra cosa possa essere l'oggetto della trasformazione; ma *l'uso di questo metodo non dipende in alcun modo dalla possibilità di una tale definizione*. Tutto ciò che abbiamo bisogno di sapere è che una formulazione algebrica è possibile in linea di principio – che si può concepire l'esistenza di una funzione tale che $y = \text{pesce}_1(x)$, o $y = \text{pesce}_2(x)$, per far fronte all'una o all'altra trasformazione di pesci di Thompson –, o, per far fronte a una trasformazione di un genere ancora diverso, $y = \text{faccia di uomo}_1(x)$ o $y = \text{faccia di uomo}_2(x)$. A queste funzioni possiamo applicare qualsiasi tipo di trasformazione a nostro arbitrio; il punto essenziale (espresso specialmente nella voce **FORMA E MATEMATICA**) è che, benché non sia normalmente possibile definire con precisione matematica la forma, si può senza dubbio dare una definizione matematica del *mutamento* di forma.

Il metodo delle trasformazioni di D'Arcy Thompson presta il fianco a varie obiezioni di un certo peso. In primo luogo la comparazione di organismi adulti è poco biologica, perché la trasformazione riscontrata non potrebbe aver luogo nella vita reale. È un

peccato che Thompson non disponesse di dati che gli consentissero di comparare una forma giovanile con una forma adulta; ma forse, se avesse avuto questa possibilità, sarebbe emersa in modo ancora più chiaro un'insufficienza di metodo: il fatto che il suo metodo abbia un carattere interamente statico. D'Arcy Thompson si limita essenzialmente a comparare due fotogrammi di un film.

Nonostante tutte le sue insufficienze – una conseguenza dell'estrema difficoltà del progetto – il metodo delle trasformazioni fa un'osservazione biologica valida: nella differenziazione di forme non è sempre necessario compararle punto per punto e particolare per particolare, richiamando l'attenzione su un ingrandimento qui e una diminuzione là, un allargamento in un punto e un restringimento in un altro. In certi casi può esser lecito considerare una trasformazione la conseguenza di un vasto processo morfogenetico, che potrebbe essere opera di un singolo gene. Questa concezione importante e illuminante è il vero contributo di Thompson alla morfologia.

Se non si vuole che il metodo rimanga completamente sterile, lo si deve mettere in moto – lo si deve rendere da statico cinetico –, e in particolare lo si deve applicare allo sviluppo, o almeno a una sequenza di mutamenti evolutivi. Il mutamento di forma dev'essere rappresentato in funzione dell'età o del tempo dell'evoluzione. Le formule di corrispondenza sono la chiave; e il principio del metodo è quello di adattare le trasformazioni per mezzo di parametri variabili in dipendenza dal tempo, sia esso geologico o dello sviluppo. Se ci limitiamo al semplice esempio illustrato alla figura 10, dobbiamo innanzitutto esprimere le formule di corrispondenza (2) in una forma più generale:

$$x' = k_1(x), \quad y' = k_2(y). \quad (4)$$

Date le formule di corrispondenza, è chiaro che i valori dei due parametri k_1 e k_2 determinano la forma che assumono le trasformazioni (ossia il grado esatto di ingrandimento o – se il grado di ingrandimento nelle due dimensioni non è lo stesso – il grado di deformazione della figura, per esempio di un'ellisse).

La chiave per mettere in moto la trasformazione e per convertire queste diapositive in un film risiede nelle formule di corrispondenza (4): come abbiamo detto, i parametri devono essere ritenuti

variabili, e devono variare in dipendenza dal tempo. Possiamo scrivere perciò:

$$k_1 = f_1(t), \quad k_2 = f_2(t). \quad (5)$$

Se queste funzioni rappresentassero rapporti di proporzionalità semplice, la velocità di ingrandimento o di deformazione nel tempo sarebbe chiaramente costante, e in esempi semplici si potrebbe sperare di poter rappresentare la forma di un organismo in funzione della sua età. I pochi tentativi, coronati solo da un successo limitato, di rappresentare il mutamento di forma come una trasformazione continua di parametro di questo genere, giustificano le inferenze che il mutamento di forma sia una funzione monotona dell'età e che la velocità del mutamento di forma sia maggiore all'inizio della vita che in seguito, tendendo a un progressivo rallentamento. Qui c'è un vasto campo aperto alla ricerca, ma questa dovrebbe essere fondata su misurazioni, fotografie o osservazioni di prima mano: nessun dato già acquisito può essere adattato facilmente all'analisi per mezzo di una trasformazione continua di parametri.

UOMO, SUO POSTO IN NATURA

«Il posto dell'uomo nella natura»: quest'espressione di Thomas Henry Huxley può essere intesa in modi alternativi, a significare o qual è il posto dell'uomo nella natura biologicamente parlando – è questo il senso che l'espressione aveva nella mente di Huxley – o quale *dovrebbe essere* (come nell'espressione «il posto della donna è in casa»). Entrambi i significati possibili meritano qualche considerazione.

Aristotele, che deve avere avuto sicuramente nozione della scimmia di Barberia (un macaco di Gibilterra o del Marocco noto anche come bertuccia o magot), riconobbe la somiglianza anatomica fra alcuni animali e l'uomo; fra le scimmie cinomorfe e l'uomo c'erano però anche differenze abbastanza consistenti da rendere sgradevole l'assimilazione di questo concetto. Forse il trauma culturale più profondo provato dall'uomo prima di Darwin fu la scoperta di scimmie antropoidi in Africa e nell'Asia Sudorientale durante quegli importanti viaggi di scoperta del Quattrocento e del Cinquecento che fecero conoscere il mondo all'Europa. «Orang-utan» è una parola malese che significa «uomo della foresta»; e in seguito il grande tassonomista Linneo (Carl von Linné, 1707-1778) classificò quest'essere come *Homo silvestris orangoutang*. Si ritiene che la classificazione dell'uomo come animale sia stata stabilita infine da Julien Offroy de la Mettrie (1709-1751) in *L'homme machine* (Leida 1748). Linneo classificò l'uomo con i pongidi negli *Anthropomorpha*. Nicholas Tulp (1593-1674), l'anatomista del famoso dipinto di Rembrandt, fu il primo a sezionare e descrivere uno scimpanzé, anche se è ben noto che la prima comparazione anatomica fra una scimmia, un «pigmeo» (un

giovane scimpanzé), e l'uomo fu opera di un medico londinese molto lodato da Huxley, Edward Tyson, nel 1699.

Sulla base dell'interfecondità degli esseri umani di tutte le razze, il filosofo Immanuel Kant (1724-1804) e il naturalista Georges-Louis Leclerc, conte di Buffon (1707-1788), ritennero che gli esseri umani formassero un'unica specie. Questa fu pure l'opinione di Darwin e di Huxley, anche se Ernst Haeckel (1834-1919) e San Vincenzo nutrono l'idea che potessero esserci varie specie umane.

Le prove sul posto dell'uomo in natura che Thomas Henry Huxley trovò più convincenti furono quelle derivanti dall'applicazione della legge di von Baer. «Solo nelle fasi posteriori di sviluppo l'essere umano esibisce marcate differenze rispetto alla giovane scimmia», osservò Huxley, «fatto che, da solo, mi pare sufficiente a considerare sottratta a ogni dubbio l'unità strutturale dell'uomo con... le scimmie antropomorfe.» Oggi non ci sono voci di dissenso sulla classificazione a grandi linee dell'uomo; in ordine di sempre minore generalità, gli esseri umani sono vertebrati appartenenti all'ordine dei primati, sottordine pongidi o antropoidei, e membri della famiglia degli ominidi e del genere *Homo*. Non è stata però ancora detta l'ultima parola su quale sia la denominazione più saggia per designare la specie umana. *Homo sapiens*, l'espressione più diffusa, fu una buona scelta se si considerano le doti di razionalità dell'uomo, ma il suo principale svantaggio – letterario, più che tassonomico – risiede nella facilità con cui si presta a tediosi scetticismi sul contrasto fra la sapienza di cui l'uomo sarebbe dotato in teoria e che gli manca così spesso in pratica. Altre denominazioni della specie umana sono state *Homo faber*, che richiama particolarmente l'attenzione sulla sua capacità di costruire utensili, *Homo docens*, che esprime l'opinione che la caratteristica distintiva dell'uomo sia la propensione a insegnare e imparare, una generazione dopo l'altra, tutto ciò che appartiene all'eredità culturale umana.

Tanto basti circa il primo dei due significati che leggiamo nell'espressione «il posto dell'uomo nella natura». Dobbiamo ora chiederci quale posto l'uomo *dovrebbe* occupare in relazione al suo status, che è – ci sembrerebbe futile negarlo – il prodotto più alto dell'evoluzione. L'espressione «dovrebbe» chiarisce che in questo caso ci troviamo di fronte a un problema morale, che esor-

bita dalla scienza considerata in senso ristretto. L'unica parola che compendia quale dovrebbe essere il rapporto dell'uomo col resto della creazione non è monarca, né signore e neppure padrone, bensì piuttosto *conservatore*. Una lezione che si dovrebbe insegnare ai ragazzi già a partire dalla scuola elementare è che gli esseri umani hanno l'obbligo nei confronti dei posteri di conservare un sistema naturale funzionante, di trasmettere la loro eredità in uno stato non peggiore di quello in cui l'hanno ricevuta, e preferibilmente migliore. Gli esseri umani di ogni generazione dovrebbero essere sgoimati all'idea che saranno giudicati dai loro discendenti alla stregua di vandali, colpevoli di distruzioni irresponsabili, di genocidio e di attività della stessa statura morale della pirateria.

È la filosofia del vantaggio commerciale, e soprattutto l'abitudine di ignorare coloro che la condannano, additandoli come idealisti e sentimentalisti, a provocare il danno maggiore, a giustificare l'uccisione di elefanti e di balene. Questo atteggiamento sciagurato viene esaminato con una certa abbondanza di particolari nella VOCE ANIMALI E OBBLIGHI UMANI.

Fra gli esseri umani e le scimmie antropomorfe esistono varie differenze di struttura e di comportamento, che Huxley trascurò giustamente come banali; fra queste c'è il fatto che la mano umana è puramente prensile e non viene più usata nella locomozione, e che il piede umano è puramente plantigrado: l'uomo cammina cioè poggiando la pianta del piede in piano sul suolo, a differenza di scimpanzé e gorilla, che camminano sul margine esterno dei piedi, usando inoltre nella locomozione le nocche delle mani anziché il palmo.

In generale, il comportamento umano è meno istintuale – meno programmato geneticamente – di quello di animali inferiori, e questo è il senso in cui va inteso l'aforisma di Maurice Merleau-Ponty secondo cui è nella natura dell'uomo non avere una natura. Altre considerazioni su questo argomento si trovano nella voce ESOGENETICA, EREDITÀ.

Che uomini e scimmie antropomorfe siano cugini era una lezione che doveva essere insegnata, ma ora è il momento di ricordare che le differenze fra scimmie antropomorfe e esseri umani sono assai più significative dei loro caratteri comuni. Huxley, differenziandosi su questo punto curiosamente da Darwin, esclude espressamente le qualità superiori dell'uomo, come la pietà, l'affetto e

la tenerezza come irrilevanti per la sua argomentazione; eppure la qualità di gran lunga più importante fra quelle che distinguono l'uomo dagli animali è la capacità di esercitare il giudizio morale. No: l'argomentazione di Huxley, valida oggi come quando egli la formulò per la prima volta, è che, «se si può scoprire un qualche processo di causalità fisica in virtù del quale sono stati prodotti i generi e le famiglie di animali comuni, tale processo causale è ampiamente sufficiente a spiegare l'origine dell'uomo».

Molti biologi penseranno probabilmente che era giusto lasciare l'ultima parola a Darwin. Nell'ultimo paragrafo di *The Descent of Man* [*L'origine dell'uomo*] egli scrisse: «Dobbiamo riconoscere, mi sembra, che l'uomo, pur con tutte le sue nobili qualità, con la simpatia che prova per gli esseri più degradati, con la benevolenza non solo per gli altri uomini ma per gli animali più umili, con il suo intelletto quasi divino con cui ha penetrato i movimenti e la costituzione del sistema solare – pur con tutti questi eminenti poteri –, rechi ancora nella sua struttura corporea l'impronta indelebile della sua modesta origine».

UOVO E GALLINA

Per lunga tradizione in Gran Bretagna il latte viene consegnato ogni mattina, casa per casa, dal lattaiolo; e spesso questo è tutto ciò che chi abita nelle grandi città sa della sua provenienza. Quando, all'inizio della seconda guerra mondiale, molti bambini londinesi vennero evacuati nelle campagne, molti di loro appresero per la prima volta che il latte è prodotto dalla mucca, ma anche coloro per i quali questa fu una rivelazione sapevano certamente che i pulcini nascono dall'uovo. Questa conoscenza ha radici così profonde nella mente di tutti che l'uovo e la gallina hanno contribuito di continuo ad arricchire, con metafore ed esemplificazioni, il linguaggio della scienza e il parlare comune.

Consideriamo, per esempio, l'origine di uno degli aforismi più famosi a proposito dell'uovo e della gallina. In *Breeding and the Mendelian Discovery* (London 1911) così scrisse A.D. Darbyshire a proposito delle implicazioni che ha per la biologia la dottrina di August Weismann (1834-1914), della separazione assoluta fra soma e plasma germinale:

Gli scritti di Weismann produssero una vera e propria inversione di 180° nel campo del pensiero biologico, facendo prevalere idee diametralmente opposte a quelle dominanti in precedenza. Weismann sosteneva che partire dal corpo e chiedersi in che modo i suoi caratteri passassero nel germe fosse del tutto sbagliato; bisognava invece cominciare dal germe e chiedersi: «In che modo i caratteri di un organismo sono rappresentati nella cellula germinale che lo produce?» o, per dirla con Samuel Butler, il modo appropriato per esprimere la relazione tra generazioni successive consiste... nel «dire che “una gallina non è altro che il modo trovato dall'uovo per fare un altro uovo”» (p. 187).

L'attribuzione di questa battuta a Butler da parte di Darbyshire è precisa; Butler però, in una nota nella seconda edizione di *Life and Habit* (London 1878), commentava semplicemente: «È stato spesso osservato, credo, che “una gallina è solo un mezzo trovato da un uovo per fare un altro uovo”». È questo un atteggiamento quanto mai dimesso, dovuto forse al fatto che Butler era troppo modesto per scrivere, come avrebbe ben potuto fare: «Come io stesso ho fatto notare, “una gallina è ecc.”». È proprio una fortuna che la battuta non possa, per ragioni cronologiche, venir attribuita a Oscar Wilde. La battuta di Butler, che incarna una delle verità più profonde della biologia – affermando l'importanza primaria della replicazione del DNA – non era nota allo scomparso Jacques Monod, e noi avemmo la fortuna di esser testimoni del suo gran divertimento quando la sentì per la prima volta.

L'uovo e la gallina sono naturalmente presenti anche nella domanda famosa che spesso si pensa racchiuda un paradosso insolubile: «È nato prima l'uovo o la gallina?». Le due risposte possibili definiscono due filosofie biologiche e politiche opposte. Chi ritiene che sia nato prima l'uovo – che, cioè, un nuovo tipo di uovo abbia preceduto un nuovo tipo di gallina – è un seguace di Mendel e di Morgan, e nel mondo occidentale è ritenuto persona normale e di buon senso (forse per compensare l'infamia di essere definito, in Unione Sovietica, elitista genetico e lacché dell'imperialismo, tutto dedito all'oppressione della classe operaia). Al contrario, chi crede che sia nata prima la gallina – che occorra cioè una gallina di tipo nuovo, più furba o forse più intelligente dei suoi ascendenti, per produrre un nuovo tipo di uovo – sarebbe stato denunciato un tempo in Occidente come agente segreto del Comintern, intento a sovvertire la costituzione degli Stati Uniti d'America.

Esistono naturalmente molte altre battute, aforismi e metafore in cui compaiono l'uovo e la gallina, anche se nessuno è così profondo come i due che abbiamo citato: non crediamo, ad esempio, che il noto proverbio anglosassone «Prima di contare i polli, aspetta che si schiudano le uova» implichi una qualche sottile coscienza demografica della diffusione della sterilità.

VACCINAZIONE

In senso lato, la vaccinazione è un procedimento per produrre un'immunità attiva nei confronti di un agente infettivo. Essa può essere conseguita in due modi alternativi, illustrati entrambi dall'immunizzazione attiva contro la poliomielite. Nel vaccino Salk originario l'agente immunizzante (o antigene) era un poliovirus virulento reso innocuo mediante trattamento con formaldeide. Nel procedimento alternativo il soggetto riceveva virus attivi ma non patogeni, abbastanza strettamente affini al poliovirus virulento da conferire indirettamente una protezione contro di esso (un po' come l'infezione con vaiolo vaccino protegge contro l'infezione per opera del virus del vaiolo).

Poiché un tempo il vaiolo era un flagello universale dell'umanità, l'immunizzazione profilattica contro di esso era ancora più urgente di quanto non sia oggi la protezione contro la poliomielite. Benché la vaiolizzazione o variolizzazione non sia entrata in uso nel mondo occidentale sino al Settecento, era già praticata da secoli in Cina e nel Vicino Oriente. Il procedimento fu osservato con cura e successivamente riferito dalla brillante Lady Mary Wortley Montagu. Questa giovane donna attraente (se si può giudicare dal ritratto che ce ne ha lasciato Sir Godfrey Kneller) era abbastanza poetessa da essere irrisa da Alexander Pope e da attirarsi le critiche di Samuel Johnson per avere indecorosamente preferito il *Tom Jones* di Henry Fielding alla *Clarissa* di Samuel Richardson. Il procedimento di vaiolizzazione da lei propugnato comportava l'infezione deliberata di un soggetto con una pustola di una vittima di un attacco lieve di vaiolo. Era un metodo innocuo che forniva una protezione efficace contro un'infezione grave.

Può darsi che sia stata Lady Montagu a suscitare l'interesse del re Giorgio I per il procedimento. Sotto l'alto patronato reale l'efficacia della vaiolizzazione fu sperimentata nel carcere di Newgate su vari criminali (tre uomini e tre donne) condannati alla pena capitale. A tutti fu inoculato il vaiolo e tutti sopravvissero. Voltaire osservò con soddisfazione che i soggetti di quell'esperimento furono doppiamente fortunati, giacché non solo ebbero salva la vita (essi furono graziati), ma conseguirono anche la protezione contro il vaiolo. Si deve dire però che l'opinione che Voltaire aveva della vaiolizzazione era quella di un letterato piuttosto che di uno scienziato: egli considerava chiaramente l'idea di proteggere delle persone dal vaiolo inoculandoglielo deliberatamente un'idea strana e folle, quale si conveniva agli inglesi. James Boswell non riferisce alcuna critica alla vaiolizzazione da parte dell'altro grosso calibro del Settecento, Samuel Johnson, ma il punto in cui questi si avvicinò di più al problema fu in occasione del giudizio letterario erroneo espresso nei confronti di Lady Montagu.

Poiché la vaiolizzazione era già piuttosto diffusa, non possiamo riconoscere a Edward Jenner (1749-1823) il merito di avere introdotto la vaccinazione nel senso generale di immunizzazione profilattica: il suo grande merito fu quello di aver saputo mettere a profitto l'osservazione che persone che avevano sofferto di vaiolo vaccino erano immunizzate nei confronti del vaiolo. Jenner praticò perciò la vaccinazione usando pustole di vaiolo vaccino piuttosto che di vaiolo umano. Solo con lui si può parlare di vaccinazione in senso proprio (con l'aggettivo sostantivato «vaccino» si indicava in origine il vaiolo vaccino, ossia il vaiolo dei bovini).

La famosa relazione di Jenner sul suo procedimento fu pubblicata nel 1798 col titolo *An Enquiry into the Causes and Effects of the Variolæ vaccinæ, a Disease... Known by the Name of Cow Pox* [Investigazione sulle cause e gli effetti delle *variolæ vaccinæ*, malattia nota col nome di vaiolo vaccino]. Fu un'impresa grandiosa che si può dire abbia raggiunto il suo culmine quando, nel 1980, l'Organizzazione Mondiale della Sanità annunciò la virtuale scomparsa del vaiolo.

La vaccinazione fu introdotta in Francia nel 1800 a Boulogne, dove la gratitudine della nazione è espressa da una bella statua di ferro; Edward Boylston, della Harvard Medical School, che introdusse il procedimento a Boston, vi è ricordato dal nome di una

strada. Jenner, nonostante l'importanza della sua scoperta, non ricevette alcuna distinzione del genere in Inghilterra. N. McIntyre («History of Medicine», marzo/aprile 1908, p. 8) ricorda che la Camera dei Comuni giudicò che la statua di Jenner, eretta in Trafalgar Square, non avesse «nulla a che fare con gli eroi navali e militari del paese» e anzi «contaminasse e profanasse il suolo». Queste osservazioni avevano dietro di sé il peso dei Tories, e condussero alla rimozione della statua, che fu trasferita nella parte nord dei Giardini di Kensington.

Jenner non fu nominato membro del Royal College of Physicians, anche se nel 1789 fu eletto membro della Royal Society di Londra. Una sorte analoga toccò a Jonas Salk, che fu fra i primi a proporre la vaccinazione contro la poliomielite e che va annoverato in primissima fila fra coloro che fecero di più, nel XX secolo, per tradurre il pensiero in azione nel campo della medicina. Salk non ha ricevuto un Premio Nobel e non è stato ancora eletto membro dell'Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti, omissioni che sminuiscono entrambi questi onori.

VERMI

Ecco un buon esempio del genere di denominazione che i tassonomisti respingono come banale, sostenendo che tutti i vermi in senso proprio appartengono al *phylum* degli anellidi. Questo gruppo tassonomico comprende ovviamente il lombrico («la cui modesta riservatezza e attiva beneficenza sono una lezione per tutti noi»), mentre esclude, così com'è costituito, i platelminti (vermi piatti), i nematelminti (vermi cilindrici), gli anchilostomi, i linguatulidi, le larve di coleotteri della farina (note come «vermi della farina»), i chetognati o sagittoidei, gli elmintomorfi, i sipunculoidei, le anguillule, le tenie, gli acantocefali e altri organismi vermiformi o chiamati vermi nel linguaggio comune, che vivono tutti con l'onta di essere così chiamati impropriamente.

Gli anellidi costituiscono un *phylum* ben definito di circa 10.000 specie di animali di forma tubolare, costruiti secondo una struttura segmentale, con fosse anulari regolarmente intervallate visibili dall'esterno. I segmenti hanno un piano simile, ciascuno con un ganglio nervoso, un organo escretore, un certo numero di setole che consentono all'organismo di fissarsi al substrato e muscoli di-

sposti in modo da rendere possibile il tipico movimento ondulatorio: distensione della parte anteriore seguita dalla trazione della parte posteriore. Essi hanno un'ampia cavità corporea, e il sangue è contenuto entro speciali vasi sanguigni (il sistema vascolare non è del tipo aperto, come negli artropodi). Gli anellidi più abbondanti sono i cosiddetti chetopodi, con numerose setole chitinizzate; a questo *phylum* appartengono anche le sanguisughe.

VIRUS

Morbillo, poliomielite, rosolia, epatite e alcune forme di cancro in animali sperimentali hanno in comune il fatto di essere causati da virus. I virus si comportano come se fossero minuscoli organismi viventi: ossia come batteri ridotti al materiale essenziale costituito da acido nucleico, all'interno di una guaina o capsula proteica. Di fatto i virus più grandi, come quelli che danno origine all'ornitosi (psittacosi), sono in realtà probabilmente piccoli batteri.

È sotto molti aspetti poco saggio descrivere i virus come organismi viventi; essi sono piuttosto agenti infettivi che hanno il potere di sovvertire le funzioni dei loro ospiti in modo da rendere possibile la produzione di repliche di se stessi. I virus non sono capaci di per sé di moltiplicarsi per divisione, né di vivere fuori dell'ambiente fornito da una cellula viva. Mentre stiamo scrivendo non si conosce alcun antibiotico che agisca specificamente contro un virus; il controllo di un'infezione virale è essenzialmente un problema profilattico di immunizzazione con virus vivi attenuati, antigenicamente affini ai virus contro i quali si ricerca protezione, o con virus virulenti uccisi per mezzo del trattamento con formaldeide.

Poiché i virus ci diventano noti attraverso le malattie o altri mutamenti patologici che causano in noi, l'esistenza di virus benigni privi di effetti patologici rimane congetturale. Non *si conosce* alcun virus che abbia effetti benefici: è stato ben detto che un virus è «una cattiva notizia avvolta in una proteina».

VITALISMO

Il vitalismo è una dottrina che ha assunto storicamente varie forme, le quali hanno in comune un deciso rifiuto dell'idea che la vi-

vacità* di un organismo vivente – il suo essere in vita – possa essere spiegata in modo soddisfacente con la sua forma e composizione: ossia sulla base dei materiali che lo compongono e del modo in cui questi materiali interagiscono fisicamente e chimicamente. In aggiunta a tutto questo si richiede un qualche principio vitale immateriale, che per Hans Driesch era un'entelechia, e per Henri Bergson (cui si associa George Bernard Shaw) un *élan vital*, uno slancio vitale.

La posizione di Driesch è quella più direttamente aristotelica. La linea di pensiero da cui essa sorse può essere inferita dagli esperimenti descritti dallo stesso Driesch nelle sue famose Gifford Lectures del 1907 (*The Science and Philosophy of the Organism*, London 1908). Gli esperimenti embriologici rilevanti sono i seguenti: nel corso normale di eventi, quando un uovo fecondato si divide in due i cloni o discendenti, per successive divisioni cellulari, di ciascuna cellula figlia danno origine a metà del corpo. Non ci fu perciò alcuna sorpresa quando il pioniere dell'embriologia sperimentale Wilhelm Roux (1850-1924) uccise una delle due cellule figlie risultanti dalla prima divisione di un uovo di riccio di mare fecondato e trovò che mezzo uovo dava origine a mezzo embrione. Risultati simili in linea di principio furono ottenuti usando un uovo fecondato di rana, di mollusco e di un organismo pelagico simile alle meduse appartenente al *phylum* degli ctenofori. Tutto questo era molto simile a quanto ci si sarebbe dovuti attendere; Driesch eseguì però lo stesso esperimento in un altro modo su un altro riccio di mare. I risultati da lui ottenuti furono del tutto diversi: tanto l'una quanto l'altra delle prime due cellule figlie (blastomeri) in cui l'uovo fecondato si divise diede origine a un embrione piccolo ma *intero*, e lo stesso vale per ciascuna delle quattro cellule figlie prodotte dalla seconda segmentazione dell'uovo fecondato. Di fatto, persino la divisione in due di un embrione già alquanto avanzato ebbe come risultato la formazione di due interi organismi.

Da questi esperimenti Driesch inferì (e ogni esperimento successivo confermò la sua posizione) che il differenziamento nello sviluppo non può essere dovuto a una successione di divisioni nuclea-

* È un'attraente designazione seicentesca per quella che noi oggi indichiamo, con vocabolo assai poco efficace, come «vitalità».

ri diverse, ossia a una suddivisione diseguale della sostanza cellulare durante successive segmentazioni dell'uovo fecondato. Di più, Driesch si convinse che l'organismo non poteva essere interpretato come una sorta di macchina, per quanto sottile o minuziosa nel suo funzionamento. Nel processo di «regolazione», in virtù del quale ciò che era potenziale diventava attuale, Driesch vide chiaramente l'incarnazione (se è lecito usare una tale parola per una forza o spirito) dell'*entelecheia* di Aristotele. Così il fattore vitalistico o autonomo di Driesch che governava la morfogenesi fu chiamato entelechia in segno di ammirazione per il genio di Aristotele.

Qual è il giudizio attuale sul vitalismo? È praticamente impossibile concepire un'osservazione o esperimento, tranne forse la sintesi totale di un qualche organismo vivente, in grado di falsificare la nozione di vitalismo o una qualsiasi inferenza tratta da essa. Fino a che non si perverrà a questo risultato, cosa che un giorno potrebbe anche accadere, il concetto di forza vitale o di *élan vital* dev'essere giudicato come qualcosa di esterno alla scienza. Ma nessuno assume più posizioni ufficiali sull'argomento: il vitalismo è nel limbo di ciò che non viene più degnato di alcuna considerazione. I biologi moderni non trovano necessario appellarsi a un principio vitale immateriale come quello considerato da Driesch. A noi pare che lo stato di essere in vita venga descritto nel modo migliore come una proprietà emergente, nel senso concepito nella voce RIDUZIONISMO. La lettura delle Gifford Lectures di Driesch ci ricorda però quanto rimanga ancora da spiegare e quanto siamo ancora lontani da una compiuta spiegazione teorica dello sviluppo.

VITAMINE

Nessuna proprietà essenziale contraddistingue le vitamine da altre sostanze; una vitamina è un qualsiasi materiale essenziale per la crescita o per il persistere dello stato di salute dell'organismo che non venga sintetizzato dal corpo, cosicché deve far parte della dieta. Una sostanza che è una vitamina per un animale non lo è necessariamente per un altro: l'acido ascorbico è una vitamina per noi, ma non per i topi. Le sostanze che sono vitamine per gli animali superiori devono essere diffuse e abbastanza abbondanti,

poiché altrimenti gli animali che notoriamente le richiedono non esisterebbero più; così la vitamina C e le vitamine del complesso B sono largamente distribuite nella dieta degli animali che le richiedono.

La nozione che il fine delle vitamine sia quello di impedire una varietà di malattie metaboliche è stata molto sviante: essa ha creato l'impressione che ci sia bisogno di consumare le vitamine solo in quantità sufficienti a prevenire l'insorgere delle malattie che sarebbero provocate dalla loro carenza. Le opinioni in merito stanno però mutando, e ci sono prove crescenti del fatto che abbiamo bisogno della vitamina C in quantità assai superiori a quelle, relativamente piccole, necessarie e sufficienti per prevenire lo scorbuto. *Mutatis mutandis*, potrebbe valere lo stesso per la vitamina A, che ricerche epidemiologiche hanno dimostrato avere una parte importante nella resistenza al cancro. Alcune vitamine (quelle liposolubili) sono dannose se ingerite in quantità eccessive, e il consumo entusiastico di compresse di vitamine come sorta di panacea contro la maggior parte delle sofferenze umane non può essere raccomandato senza riserve.

WOODGER, PARADOSSO DI

È nella definizione del paradosso che un ragionamento rigorosamente logico a partire da premesse accettate possa condurre a inferenze che ripugnano al senso comune. Un paradosso, è stato detto giustamente, ha per un filosofo o per un logico lo stesso significato che un odore di gomma bruciata ha per un tecnico elettronico: è un segnale del fatto che qualcosa non va.

Joseph H. Woodger, eminente logico matematico e biologo, e autore di *Biological Principles* (London 1929) e di *The Axiomatic Method in Biology* (Cambridge 1937), fece circolare fra i suoi amici, per loro divertimento, il paradosso descritto qui sotto.

Consideriamo una qualsiasi unità tassonomica: scegliamo la *classe*, anche se l'ordine, il genere o la specie sarebbero andati altrettanto bene. Sia un principio tassonomico che ogni organismo debba appartenere a una classe, e che nessun organismo possa appartenere a due classi. In questo caso, ragionò Woodger, il passaggio evolutivo da una classe all'altra, per esempio dai rettili ai mammiferi, deve aver luogo fra una generazione e la seguente, ossia fra una generazione parentale e una generazione filiale. Se un organismo appartenente alla classe A si evolve in un organismo appartenente alla classe C, non può esistere una forma intermedia B che appartenga sia ad A sia a C, né può accadere che l'organismo B si trovi in un limbo tassonomico – che non appartenga a nessuna classe –, poiché entrambe le supposizioni violano i canoni tassonomici accettati sopra. Non c'è quindi alcuna alternativa alla supposizione che A come membro di una classe debba essersi evoluto direttamente in un organismo C appartenente a un'altra classe, che da due genitori rettili sia nato direttamente un mammifero o un uccello. Così la progressione da una classe all'altra, essendo

senza forme intermedie, deve aver luogo da una generazione all'altra.

Che cosa c'è di sbagliato in questo ragionamento?

Woodger, biologo un po' all'antica, considerava l'evoluzione in un modo che già ai suoi tempi era un po' antiquato: nello stile di un albero genealogico. È *qui* che sta l'errore. Nelle discussioni sulla genetica di popolazioni, sulla frequenza genica, sul neodarwinismo e nei paragrafi della voce TASSONOMICA, UNITÀ in cui ci occupiamo della specie, chiariamo che la concezione dell'evoluzione ispirata al modello dell'albero genealogico è incompatibile con la genetica di popolazioni: non è un organismo a evolversi in un altro, bensì una popolazione, caratterizzata da un qualche modello distintivo di frequenza genica, a evolversi in un'altra popolazione. Persino la nozione di appartenenza a una specie risulta dubbia dal punto di vista della genetica di popolazioni.

La scelta della classe come unità tassonomica nell'esempio citato sopra si deve al desiderio di dare al paradosso di Woodger una speciale forza retorica. La specie sarebbe stata certamente una scelta migliore; se avessimo scelto la specie, saremmo stati condotti all'opinione altrettanto paradossale che anche il passaggio da una specie all'altra ha luogo in una generazione, una concezione altrettanto inammissibile dal punto di vista della genetica di popolazioni. È la formulazione di antinomie come quella di Woodger a condurci a intraprendere lo scrupoloso autoesame da cui dipende in così gran parte la fortuna a lungo termine di una scienza. Gli evoluzionisti del passato, sicuri nella concezione genealogica dell'evoluzione, non si sarebbero lasciati preoccupare da problemi come questi e li avrebbero in effetti ripudiati come illusori.

ZOO

Ci sono pochi adolescenti dall'intelligenza vivace che, guardando prima le scimmie rinchiusi in una gabbia allo zoo e poi gli spettatori che le osservano a bocca aperta, non abbiano avuto pensieri oscuri e (a loro giudizio) alquanto profondi circa il problema di quale dei due gruppi rappresenti lo spettacolo e quali siano gli spettatori.

Giardini zoologici e serragli sono oggetti di divertimento per tutte le culture, e lo sono stati in ogni tempo e luogo, ricchi come sono di cose edificanti, divertenti e, per ragioni difficili da esprimere a parole, toccanti.

Gli autori di questo volume, zoologi per educazione e inclinazione, hanno molti ricordi di meraviglie cui hanno assistito in giardini zoologici, fra cui quello di un gruppo di giraffe che, pur essendo incessantemente e vigorosamente in moto e mutando di continuo direzione, non si urtarono e neppure si toccarono mai. Ricordiamo il piacere (sarebbe una pedanteria behavioristica descriverlo diversamente) provato dagli elefanti annaffiati con acqua fredda in una giornata caldissima. Ricordiamo anche, perché ci fece apparire gli esseri umani in una luce molto modesta, la copula in pubblico di due tartarughe: una prestazione maestosa al ritmo lento del Mesozoico, non turbata dalle risa volgari e dai clic delle macchine fotografiche tutto attorno a loro. Toccante? Sì, forse perché le tartarughe e i rettili in generale hanno fatto il loro tempo, e quali prospettive rimangono ormai alla loro progenie?

Questo divertimento è certo molto bello, ma è giusto che degli animali vengano catturati, confinati in uno spazio ristretto ed esibiti per il divertimento o l'istruzione di esseri umani? *Ovviamente no!* Ma se consideriamo che questo è un mondo imperfetto, non ci

pare che si abusi in modo sproporzionatamente iniquo di animali non umani quando ci sono molti esseri umani che vivono in tuguri o casupole bui, non igienici, sotto certi aspetti inferiori alle abitazioni di cui dispongono tanti animali in buoni giardini zoologici moderni. Per fortuna si avvertono vari segni di miglioramenti in corso, specialmente parchi per animali, riserve naturali e altre approssimazioni a un habitat naturale. Siamo però ancora solo agli inizi, e rimane molto spazio di intervento per la generosità di magnati americani desiderosi di tacitare la loro coscienza spendendo denaro in riparazione di inadempienze in altri settori o per nobili britannici che decidano di concedere le loro proprietà a predatori di propria scelta piuttosto che agli esattori del fisco di Sua Maestà. Non si deve dimenticare, inoltre, che oggi alcune specie di animali non sono ancora estinte solo perché i giardini zoologici offrono loro un asilo.

Indice analitico*

- Abercrombie, Michael, 72
accoppiamento assortativo, 138
accrescimento, 14
 - biologico, leggi dell', 11-6
 - curva di, 11-2
 - funzioni di: Gompertz, 13; logistica, 13; monomolecolare, 13
 - specifico, curva dell', 11acetico, acido, 25
acetilcolina, 38
acido ascorbico, 311
acqua, 16-9
 - calore latente di evaporazione, 17
 - densità, 17
 - metabolica, 18
 - proprietà fisiche, 17
 - struttura molecolare, 17acquicoltura, 19
ACTH (ormone adrenocorticotropo), 276
adattamento, 19-20
 - negativo, 99-101adenina, 221
adenovirus 12, 52, 238
adrenalina, 276
adrenocorticotropina, 276
adrenocorticotropo, ormone, 276
agammaglobulinemia, 39
aggressivo, istinto, 20-1
albin, loro difetti della vista, 21
albinismo, 21-2, 95
alimenti antigenici, 22
alite ostetrico, 136
allantoide, 139, 155
allele, 139, 145
allelismo:
 - binario, 139
 - multiplo, 139allelomorfi, 139
allergeni, 22
allergia, 22-3, 99
 - da farmaci, 22allergiche, dermatiti, 22, 174
allevamento in batteria, 34
allometrica, legge, 24
allometrico, accrescimento, 23-4
allotrapianto, 174, 291
altruismo, 24-5, 268
ambiente, 96-8
Amblystoma, 218
ameba, 240
amici degli animali, 33
amminoacidi, 25-6, 141, 238
amminopterina, 63

* I numeri in neretto rimandano alle pagine in cui l'argomento è trattato in una voce ad esso appositamente dedicata.

- amnio, 140
 amniocentesi, 86, 139-40, 159
 amnioti, 140
 amniotica, cavità, 140
 amniotico, liquido, 139-40
 amore, 251-2
 anabiosi, 26
 anabolici, 276
 anabolismo, 209
 analisi riduttiva, 251
 analogia, 224
 anaplasia, 61-2
 anarmonico, rapporto, 132
 anatomia comparata, 26-7
 ancestrale, carattere, 45
 anelli mancanti, 27, 39-40, 44
 anellidi, 183, 308-9
 anemia drepanocitica, 65, 156
 anencefalia, 28, 243
 anfiosso, 28-30, 73, 184, 245
 anidride carbonica, 90
 animali:
 - estinti e in via di estinzione, 35
 - e obblighi umani, 30-5
 - sperimentazione sugli, 31-2
Anodonta cygnea, 151
 anomalie genetiche, 115-8
Anthropomorpha (antropomorfi), 256, 300
 antibiotici, 36-8, 289
 anticolinesterasi, 38
 anticorpi, 39, 195, 283
 - e antigeni, 38-9
 antigeni, 38-9, 283
 antiossidanti, 183
 antistaminici, 2
 api, linguaggio delle, 200
 aploide, condizione, 208
 aploide, numero, 76
 apocrine, 275
 - aree, 275
 aposematica, colorazione, 210
 appendicolarie, 218
 aptene, 39
 aracnofobia, 168
Archæopteryx, 27, 39-40, 188, 242
 arco riflesso, 252-3
 Aristotele, 40-2, 45, 56, 144, 163, 197, 207, 300, 311
 - *De generatione animalium*, 70, 281
 - *Historia animalium*, 41
 armadillo dalle nove fasce, 146
 arsfenamina, 263
Artemia salina, 289
 arterie, 254
 - polmonari, 254
 Arthus, allergie del tipo di, 23
 artrite reumatoide, 175
 artropodi, 43-4, 183
 ASB (anencefalia/spina bifida), 28
 ascidie, 30
 - larva delle, 151
 ascorbico, acido, 183, 311
 -asi, suffisso, 94
 asma, 22-3
 asse embrionale, 245
 associazione, 76
 - genetica, 140-1
 - gruppi di, 141-2
 assoni, 266-7
 assortativo, accoppiamento, 138
 assortimento indipendente, 141
 Astbury, W. T., 52
 atavismo, 44-5
 Austen, Jane, 47-8
 - *Sense and Sensibility*, 47
 autoimmunitaria, malattia, 174-6, 209
 autoimmunitaria, tiroidite, 69
 autoimmunità, 175
 autonomo, sistema nervoso, 265
 autosomi, 158
 autotrapianto, 291
 Avery, Oswald, 53, 262
 axolotl, 218

- azatioprina, 63
 azione consumatoria, 111
 azoto, ciclo dell', 90
- Bacone, Francesco, 40-1, 167
Bacterium coli (*Escheridia coli*), 46
 Baer, Karl Ernst von, 246
 - legge di, 119, 150, 246, 301
 balanoglossi, 73
 balene:
 - latte delle, 18
 - sterminio delle, 35
 bandicoot, 155
 bardotto, 213
 Barr, corpi di, 77, 159
 Barr, Murray, 77
 Bastianelli, Giuseppe, 206
 Bateson, William, 76-7, 202, 215
 - *Mendel's Principles of Heredity*, 76, 215*Bathybius haeckeli*, 240
 batteriofagi, 46, 54
 Beer, Gavin de, 218, 262
 - *Embryos and Ancestors*, 245
 Beethoven, Ludwig van, 264
 behaviorismo, 46-8, 111-2
 benevolenza divina, 65
 Bergson, Henri, 310
 Berkeley, George, 260
 bertuccia, 300
 Bibbia, 30
 Bilharz, Theodore, 48
 bilharziosi, 48-9
 biogenesi, 49, 137
 - legge della, 49
 bioingegneria, 49-52
 biologia:
 - cibernetica e, 68-9
 - molecolare, 52-5
 - nell'istruzione medica, 55-8
 birapporto, 132
bird-watching, 231
- Blackett, Lord (Patrick Maynard Stuart), 168
 blastomeri, 310
 blastula, 128
 Bolk, Ludwig, 218
 Boltzmann, Ludwig, 225
 Bonaparte, Napoleone, 193
 Boswell, James, 307
 botulismo, 289
 Boyle, Robert
 - *Il chimico scettico*, 40
 Boylston, Edward, 307
 Brachet, Jean, 54
 brachiazione, 237
Branchiostoma (anfiosso), 28-30, 73
 Brenner, Sidney, 54
 Bridgewater, conte di (Francis Henry Egerton), 8, 85
 Bridgewater, trattati, 85-6
 briozoi, 184
 Bucharin, Nikolaj Ivanovič, 203
 Buffon, conte di (George-Louis Leclerc), 301
 bulldog, 33-4
 Burch, R.L., 33
 Burnet, F. Macfarlane, 176
 burocrazia, 32-3
 Burt, Cyril, 147
 Butler, Samuel, 192, 216-7, 304
 - *Life and Habit*, 304
- caccia, 33
 Calibano, 96
 Cambridge, 126
 canale neurenterico, 282
 cancro, 59-64, 107, 176-8, 182, 207, 312
 - cause, 62-3
 - epidemiologia, 63-4
 canguri, 155
 cani, 33-4, 285

- canine, mostre, 33
capsula proteica di virus, 309
carattere congenito, 141
caratteri rudimentali, 103
carboidrasi, 94
carbonio, ciclo del, 90
carotenoidi, cancro e, 63
carotidi, arterie, 64
Carrel, Alexis, 286
Carroll, Lewis:
- *Alice nel mondo dello specchio*, 80
- *Alice nel paese delle meraviglie*, 80, 126
caso, 64-5
Caspersson, Torbjörn, 54
catabolismo, 209
catarrini, 237
cefalopodi, 212
cellula(-e), 65-6
- cancerose, 61-2
- a fiamma, 29
- killer, 176
- maligne, 72
cellulare, teoria, 65-6
cellulomediata, immunità, 199
celoma, 73, 92, 128
centrifuga, 66-7
centrifugazione, 238
Chagas, morbo di, 241
Chagas, Carlos, 242
Chargaff, Erwin, 229
cheratina, 52, 238
chimera(-e), 67-8, 146, 174
- artificiali, 68
chinina, 206
chitina, 43
Choetognata (sagittoidi), 184
Chomsky, Noam, 161
cibernetica, 68-9
cicatizzazione, 57-8
ciclo:
- del carbonio, 90
- dell'azoto, 90
- dell'ossigeno, 90
cicuta, 290
cilindrasse, 267
circolazione del sangue, 254-6
cirripedi, 69-71
citoplasma, 65
citosina, 221
classe, 277
classificazione, 277-81
Clausius, Rudolf, 226
Clemenceau, Georges, 107
clonazione, 72
cloni, 71-2, 157, 211, 272
Clostridium botulinum, 290
codice genetico, 141
coenzimi, 94
cogito, 260
Cohnheim, Julius, 62
Coleridge, Samuel Taylor, 34, 136
- *Hints Towards the Formation of a More Comprehensive Theory of Life*, 42
- Vecchio Marinaio di, 18-9
colinesterasi, 38
colite ulcerosa, 175
collagene, 238
Collier, John, 168
Colombo, Cristoforo, 205, 263
colonie, 157, 177
colostro, 173
colture in goccia pendente, 286, 288
Columbia University, 53
commensalismo, 265
comportamento, 108, v. *anche* etologia
- animale, 110
- appetitivo, 111
- modelli di: loro trasmissione ereditaria in ratti, 194
conchiglia, 212
- interna, 212

- congenito, carattere, 141
 conigli, 285
 contatto, inibizione da, 72
 continenti, deriva dei, 166-8
 cordati, 29, 72-3
 corea, 171
 - di Huntington, v. Huntington, corea di
 coronarica, insufficienza, 74
 coronarie, arterie, 73-4
 corpo calloso, 213
 corrispondenza, formula di, 132
 corteccia surrenale, 276
 corteggiamento, 108
 corticospinale, via, 219
 corticosteroidi, 276
 Cowley, Abraham, 40-1
 creazionismo, 74-5
 creazione speciale, 118
 crescita esponenziale, 234-5
 crescita logaritmica, 234
 cretinismo, 207
 cretino, 207
 Crick, Francis, 54
 criobiologia, 288
 cristallino, 195
 cromosomi, 21, 75-8, 77
 - composizione chimica, 77
 - sessuali, 158
 cromosomiche, anomalie, 115
crossing over, 142
 crostacei, 43
 Cruz, Osvaldo, 242
 culturale, eredità, 162
 cuori branchiali, 29
 curaro, 38, 78

 Darbyshire, A.D., 303-4
 Darlington, C.D., 162
 Darwin, Charles, 55-7, 70, 74, 192, 215-6, 229, 241-2, 255, 258, 273, 301-3
 - *Origine delle specie*, 52, 56
 - *Origine dell'uomo*, 111, 303
 dasiuro viverrino, 155
 Davy, Humphrey, 85
 Dawkins, Richard, 104, 208
 - *Il gene egoista*, 268
 Dawson, Charles, 232
 decapodi (seppie e calamari), 212
 dedifferenziamento, 62
 definizione in biologia, 79-80
 degenerazione, 44
 demografia, 80-3, 124, 269
 dendriti, 266-7
 Denny-Brown, Dennis, 209
 deriva dei continenti, 166-8
 deriva genetica, 142-3, 216
 dermatiti allergiche, 22, 174
 Descartes, René, 95, 130
 desossiribonucleico, acido (DNA), 217, 221, v. *anche* DNA
 desossiribosio, 221
 detersivi, 206
 diaframma, 212
 Diamond, Jared M., 35
 Dickinson, Goldsworthy Lowes, 40
 Dio, bontà di, 84-6
 Dio, esistenza di, 84, 99
Diodon, 293
 diploide, condizione, 208
 diploide, numero, 76
Dipneusti, 83
 dipnoi, 83-4
 disegno divino, 99
 - argomento del, 84-6
 disegno razionale, 102
 dismenorrea intermestruale, 262
 divisione riduzionale, 211
 DNA (acido desossiribonucleico), 51, 53, 112, 195-6, 221
 - mitocondriale, 211
 Dobzhansky, Theodosius, 114
 dominanza, 143-4

- donatore, 174
 Down, John Langdon H., 44, 86
 Down, sindrome di, 44, 77, 86-7, 115, 140, 154
 Doyle, Arthur Conan, 168
 - *The Lost World*, 168
 drepanocitica, anemia, 87-8, 156
 drepanocitico, carattere, 87
 Driesch, Hans, 144, 239, 248, 310-1
 - *The Science and Philosophy of the Organism*, 310
 Dryden, John, 162
 dugongo gigante o di Steller, 35
 Dunlop, John Boyd, 104
- ebdomadica, regola, 42
 Ebeling, Albert, 286
 eccrine, ghiandole, 275
 ecdisi, 43
 echinodermi, 183
 ecologia, 89-91
 ectoderma, 128
Ectopistes migratorius (piccione migratore), 35
 ectoprotti, 184
 Eddington, Arthur, 45
 effetti collaterali, 99-100
 effimera, 150
 Egerton, Francis Henry, conte di Bridgewater, 8, 85
 Ehrlich, Paul, 263
élan vital (slancio vitale), 310-1
 elastina, 238
 elettroforesi, 39, 91, 238
 élite genetica, 113-5
 emazie, 87, 254
 embriologia, termini di, 138-61
 embrionale, asse, 91-2
 embrione dei vertebrati, 92
 emergenti, proprietà, 251
 emofilia, 115-6
 emoglobina, 87, 156
 - S, 101, 156, 205, v. *anche* drepanocitica, anemia
 emolinfa, 43
 emolitica, malattia, 115
 empirismo, 260
 encefalite letargica, 241
Encyclopaedia Britannica, 8
 endocrine, ghiandole, 92-4, 275
 endoderma, 128
 endometrio, 261
 endosomatica, evoluzione, 104
 endostilo, 29
 endotelio, 95
 - vascolare, 96
 energia nervosa specifica, legge della, 259
 Engels, Friedrich, 273
 - *Dialettica della natura*, 203
entelecheia, 311
 entelechia, 144
 enterochinasi, 94
 entropia negativa, 226
 enzimi, 94-5, 237
Eoanthropus dawsoni, 233
 epidemiologia del cancro, 63-4
 epifisi, 95
 epigenesi, 144
 epinefrina, 276
 epitelio, 95-6
 epitelioma, 59
 epitopo, 38
 equazioni della carta, 297
Equus asinus, 213
Equus caballus, 213
 Erb-Golflam, malattia di, 209
 ereditarietà dei caratteri acquisiti, teoria della, 102
 eredità:
 - culturale, 103, 162
 - e ambiente, 96-8, 135, 147
 - esogenetica, 102-5, 237
 eritroblastosi fetale, 244

- eritrociti, 254
- ermafroditismo, 261
- Erodoto, 42
- errori di natura, 99-102
- Escheridia coli* (*Bacterium coli*), 46
- eserina, 38
- esogena, eredità, 104
- esogenetica, eredità, 102-5, 162, 237
- esogenetica, evoluzione, 268
- esoincrocio, 145
- esoscheletro, 43
- esosomatica, evoluzione, 104
- esplosione demografica, 235
- essere, grande catena dell', 27, 56, 105-6, 239
- essere, grande scala dell', 105
- estrale, ciclo, 261
- estro, 261
- esuvia, 43
- eterogametico, sesso, 158
- eterosi, 149
- eterozigoti, 145
 - vantaggio selettivo degli, 87
- etologia, 107-12
 - umana, 109
- età, distribuzione delle, 106-7
- eucarioti, 112
- eufenica, 88, 112, 122
- eugenetica, 112-8
 - negativa, 115
 - preventiva, 123
- eugenica, 112, v. *anche* eugenetica
- eugenics*, 113
- Eulero, teorema di, 134
- euploide, numero di cromosomi, 77
- evoluzione:
 - culturale, 103
 - endogenetica, 102
 - endosomatica, 102, 104
 - esogenetica, 102
 - esosomatica, 102, 104
- prove dell', 118-20
- psicosociale, 162
- faccia dei primati, 237
- falcemico, carattere, 87
- falsificazione, 186
- Farley, John, 138
- febbre da fieno, 22
- fecondazione in vitro, 271
- fecondità, 124
- feedback* (retroazione), 68
 - negativo, 68
 - positivo, 69
- fenilalanina, 97, 112, 121
- fenilalaninaidrossilasi, 95, 112
- fenilcarbammide, 155
- fenilchetonuria, 95, 96-7, 115-8, 121-4
- fenilpiruvico, acido, 121
- feniltiourea, 155
- fenotipo, 147-8
- fertilità, 124-5
- fetalizzazione, 218
- fibrina, 238
- fibrinogeno, 238
- fibroblasti, 287
- fibroplastiche, cellule, 126
- Fielding, Henry, 306
 - *Tom Jones*, 306
- figure retoriche, 125-6
- filogenesi, 152-3, 246
- filosofi della natura, 177-8, 202, 223, 247, 253
- Fisher, Ronald A., 81, 125, 143, 152, 215
- fisostigmina, 38
- fitness*, 126-7, 258
 - complessiva, 127
- fitoplancton, 90
- Fleming, Alexander, 36-7
- flogisto, teoria del, 247-8
- Florey, Howard W., 37, 198-9

foglietti embrionali, teoria dei,

128-9

foglietti germinali, teoria dei, 95

foramen magnum, 218

forma e matematica, 129-34

formule di corrispondenza, 297

foronoidei, 184

Forrest, D.W., 118

forza vitale, 311

fossili, 119

fotosintesi, 90

fratelli siamesi, 146

frequenza genica, 145

Freud, Sigmund, 245

– *Il disagio della civiltà*, 245

frodi, 134-6

frutti di mare, 22

gabbiani reali, 231

Galilei, Galileo, 129, 255

Galton, Francis, 113-4, 146

– *English Men of Science: Their Nature and Nurture*, 96

gameti, 76, 145

gametocito, 208

Garstang, Walter, 218

gas nervini, 219

gastrula, 245

gatto marsupiale, 155

Gay, Peter, 7

Gegenbaur, Karl, 56

gemelli, 145-7

– biovulari, 146

– dizigotici, 146

– fraterni, 146, 147

– identici, 146, 147

– monoovulari, 146

– monozigotici, 146

– sincoriali, 146

geni, 76-7, 147-8, 151

– dominanti ad azione tardiva, 116

– normali, 151

– recessivi dannosi, 117

– selvatici, 151

generazione spontanea, 49, 137-8

genere, 278

Genesi, 30, 74-5

genetica:

– molecolare, 53

– termini di, 138-61

– varianza, 160-1

geneticismo, 161-2, 268

genetico, sistema, 160

genio e follia, 162-3

genoma, 147-8

genotipo, 147-8

gerarchia, 164-5

– della natura, 250

germinativo, disco, 153

ghiandola pineale, 95

Gilbert, W.S., 160

Giorgio I, re d'Inghilterra, 307

girino, 151

Glanvill, Joseph, 40

glicerina, 288

glicina, 25

globuli bianchi, 254

globuli rossi, 254

glochidio, larva, 151

Gompertz, funzione di, 12, 13

gonadi, 92

Gondwana, 84, 166-8

Goodall, Jane, 237

Goodrich, Edwin, 56

Gould, Stephen Jay

– *Ontogeny and Phylogeny*, 247

Gowans, James, 199

granchio reale, 168

grande catena dell'essere, 27, 56, 105-6, 239

granulociti, 254

Grassi, Giovanni Battista, 205

Gray, Asa, 258

Griffith, Fred, 53, 262

- gruppo determinante, 38-9
 gruppo, selezione di, 268
 guanina, 221
 guerre, 21
 Gully, acqua curativa del dottor, 242
 Guyer, M.F., 195-6
- Haeckel, Ernst, 7, 45, 239, 244-5, 247, 301
 - *Anthropogenie oder Entwicklungsgeschichte des Menschen*, 244-5
 - legge di, 244-6
- Haldane, J.B.S., 16, 25, 215
 Haldane, John Scott, 217
 Halley, Edmund, 273-4
 Hardy, A.C., 219
 Hardy-Weinberg, teorema di, 117, 123, 142, 145, 148-9, 215
 Harrison, Heslop, 193-4
 Harrison, Ross Granville, 286
 Harvey, William, 255
 Hashimoto, tiroidite di, 175
 H-2 (gruppo di sistemi tissutali), 155
 Henderson, Lawrence Joseph
 - *Fitness of Environment*, 17
 Hering, Ewald, 208
 Hinshelwood, C.N., 170
 HL-A (gruppo di sistemi tissutali), 155
 Hogben, Lancelot, 259
 Holmes, Oliver Wendell, 129
Homo:
 - *docens*, 301
 - *faber*, 301
 - *sapiens*, 301
 - *silvestris orangoutang*, 105, 300
 Hooke, Robert, 66
 Hooker, Joseph, 229
- Hopkins, Frederick Gowland, 240
 Howard, Jonathan
 - *Darwin*, 85
 Hume, David, 84-5, 274
 Hunter, John
 - *On the Heat of Animals*, 26
 Huntington, corea di, 115-6, 143, 171, 181-2
 Huntington, George Sumner, 172
 Huxley, Aldous
 - *After Many a Summer*, 218
 Huxley, Julian S., 24, 108, 231
 Huxley, Thomas Henry, 7, 239-40, 246, 300-3
- ibridi, lussureggiamento degli, 149
 Ibsen, Henrik, 44, 105
 immunità, 173-6
 - acquisita attivamente, 173
 - acquisita passivamente, 173
 - antivirale, 39
 - cellulomediata, 23, 173-4, 199
 - umorale, 39, 173-4
 - vicaria, 173
- immunogeno, 38
 immunologia, 283
 immunologica, sorveglianza, 176-7
 immunosoppressivi, farmaci, 176
 immunosoppressori, agenti, 292
 immunotolleranza, 174
 impulsi nervosi, 219-20
 Imuran, 63
inbred, linea, 149-50
inbreeding, 149
 individualità, 177-8
 infarto del miocardio, 74
 informazione:
 - e disordine, 226
 - e ordine, rapporto tra, 225-6
 ingegneria genetica, 50-1
 inibizione per contatto, 288
 inincrocio, 145, 149-50

inseminazione artificiale, 272

- eterologa, 272
- omologa, 272

insetti, 43

insulina, 92

interferon, 38, 178

- produzione di, 178-9

interferone, v. interferon

invecchiamento, 179-83

Invertebrata, 277

invertebrati, 183-4, 277

iperfagia, 185

ipersensibilità ritardata, reazione di, 23

ipofisi, 93-4

ipotalamo, 93, 184-5, 265

- funzione endocrina dell', 184
- funzione neurologica dell', 184
- funzioni neurovegetative soggette al controllo dell', 184
- localizzazione di funzioni nell', 184

ipotermia, 289

ipotesi, 120

- e teoria, 185-8

irritabilità, 188-9

- specifica, legge della, 189, 259

Irwin, M.R., 231

Isaacs, Alick, 178

isolotti di Langerhans, 92

istamina, 22

istinto, 189-91

Jacob, François, 54

Jenner, Edward, 307-8

- *An Enquiry*, 307

Johannsen, Wilhelm Ludvig, 147, 202

Johnson, Samuel, 32, 110, 260, 306-7

- *Life of Cowley*, 163

Kalmus, Hans, 147-8

Kammerer, Paul, 136, 192

Kant, Immanuel, 186, 260, 301

- *Critica della ragione pura*, 259

Katchalsky, Aharon, 227

Kelvin, Lord (William Thompson), 225

Kidd, Benjamin, 269

kin selection (selezione tramite consanguinei), 24, 268

Klein, Felix, 132

Kneller, Godfrey, 306

Koestler, Arthur, 165

- *Il caso del rospo ostetrico*, 192

Kuczynski, Robert, 83, 125

Kuhn, Thomas S., 186

Lack, David, 231

Lamarck, Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet, Chevalier de, 192

lamarckiana, eredità, 104, 136, 195-6

lamarckismo, 138, 192-6

Lamb, Charles, 163

- *The Sanity of True Genius*, 163

lancetta (anfiosso), 28-30

Langerhans, isolotti di, 92

Lankester, Edwin Ray, 168

larva, 150

Larvacea, 218

Lattanzio, L. Celio Firmiano, 8

Laurasia, 166

Laveran, Charles-Louis-Alphonse, 205

Le Gros Clark, Sir Wilfrid E., 13

Lebensraum, 181

Lederberg, Joshua, 112, 122

legge allometrica, 24

leggi dell'accrescimento biologico, 11-6

- Leibniz, Gottfried Wilhelm von, 84, 106
 lemming, 196-7
 - suicidio di massa dei, 25, 197
Lepas anatifera, 70
Lepas anserifera, 70
Lepidosiren, 84
 leucociti, 254
 Lewis, Clive Staples, 74
 Lewis, Sinclair, 46
 - *Arrowsmith*, 46
 lichene, 264
 limulo, 168
 Lindenmann, Jean, 178
 linfa, circolazione della (negli animali), 197-8
 linfatiche, ghiandole, 198
 linfatico(-i):
 - cuori, 198
 - sistema, 197-8
 - linfatici, vasi: valvole, 197
 linfoblasti, 197
 linfociti, 197, 198-200, 254
 linfonodi, 198-9
 linguaggio, 200-1
linkage (associazione), 76
 Linneo (Carl von Linné), 70, 105, 236-7, 256, 277-8, 300
 lipasi, 94
 Livingstone, David, 107
 Locke, John, 260
 - empirismo, 260
 lombrico, 308
 Lombroso, Cesare, 44, 163
 Lomonosov, Michail V., 167
 Lotka, Alfred J., 81, 102, 125
 Lovejoy, Arthur O., 105-6
 - *La Grande Catena dell'Essere*, 105
 lupo della Tasmania, 35
 lussureggiamento degli ibridi, 149, 202
 lysenkismo, 201-4
 Lysenko, Trofim Denisovič, 193, 201-3
 Macauley, Thomas Babington, 200
 McDougall, William, 194-5, 216-7
 Macfarlane, R.G., 37
 McIntyre, N., 308
 Maksimov, Nikolaj, 201
 malaria, 87, 101, 205-6
 malattia, 206-8
 - come punizione, 206-7, 263
 malthusiano, parametro, 81
 mammiferi, 212, 284-5
 Mandelbrot, Benoit B., 134
 Mantoux, test di, 23
 March, Fredric, 74
 Marx, Karl, 201, 273-4
 marxisti, 97-8, 193
 matematica e forma, 129-34
 Matthaei, George, 54
 Maudsley, Henry, 163
 Maxwell, James Clerk, 68, 228
 - demone di, 228
 Mayr, Ernst, 114, 231
 meccanicismo riduzionistico, 223, 224
 Medawar, Louise, 31
 Medawar, P.B., 13, 182, 256
 - *Pluto's Republic*, 51, 83, 110, 165
 medicina, 55-6
 Medvedev, Žores A., 201
 Mehring, Franz, 273
 - *Karl Marx. Geschichte seines Lebens*, 273
 meiosi, 208
 melanina, 121
 melanismo industriale in falene, 193-4
 melanociti, 21
 meme, 104, 208

- Mendel, Gregor, 76, 125, 139, 143,
 158, 202, 304
 – leggi di, 45, 101, 116
 menopausa, 180
 Merleau-Ponty, Maurice, 302
 Meselson, Matthew, 54
 mesoderma, 128
 mesotelio, 95
 Mesozoico, 166
 mestruale, ciclo, 261
 mestruazione, 261
 metabolismo, 208-9
 metafiti, 65
 metateoria, 187
 metazoi, 65-6
 meteoriti, 230
 metotrexato, 63
 Mettrie, Julien Offroy de la, 300
 – *L'homme machine*, 300
 miastenia grave, 175, 209
 micrometro, 228
 Mill, John Stuart, 255
 – *System of Logic, Ratiocinative and Inductive*, 248, 267
 mimetismo, 209-10
 – batesiano, 210
 – vero, 210
 Minot, Charles, 179
 Minot, legge di, 12, 180
 mioglobina, 52, 238
 Mitin, M.B., 203
 mitocondri, 210-1
 mitosi, 211
 – eterotipica, 211
Mittelschmerz, 262
 Mohr, Otto, 203
Mola, 293
 molluschi, 183, 211-2
 Mondo 3 (di Popper), 104
Monera (monere), 7, 239
 mongolismo, 44, 86
 Monod, Jacques, 54
 monotremi, 212-3
 Montagu, Lady (Mary Wortley),
 306-7
 morfologia, 298
 Morgan, C. Lloyd, 251
 Morgan, Thomas Hunt, 76, 102-4,
 147, 202, 215, 246, 304
 – *The Scientific Basis of Evolution*, 103, 162
 Morlock, 106
 mortalità:
 – controllo della, 235
 – forza di, 213
 – quoziente di, 81, 270: specifico per età, 270
 morte, pena di, 113
 mosaico, 67
 mostre canine, 33
 mostri, 282
 muli, 213-4
 muramico, acido, 264
 mutageno, 195-6
 mutante, 151
 mutazione, 151-2, 202, 216-7
 – nell'evoluzione esosomatica, 104
 – di ritorno, 151
 mute, 43
 Müller, Johannes, 189, 259
 – legge dell'energia nervosa specifica di, 189, 259

 nanometro, 228
 nascite, controllo delle, 235-6
 natura, 99
 Natura sa ciò che fa?, 57-8, 99
nature, 96
Naturphilosophie, 7-8, 61, 65
 nauplio, larva, 70, 151
Neoceratodus, 84
 neodarwinismo, 215-8
 neonato, malattia emolitica del,
 101, 115

- neoplasia, 60
- Neosalvarsan, 263
- neostigmina, 38, 78
- neotenia, 151, 218-9
- nervi periferici, 219
- nervini, gas, 219
- nervose, vie, 219
- nervosi, impulsi, 219-20
- neurite, 267
- neuroni, 61-2, 265-7
- neurula, 91
- Newton, Isaac, 255, 273
 - terza legge del moto di, 260
- Nietzsche, Friedrich, 163
- Nirenberg, Marshall, 54
- Nisbet, Robert, 96
- noradrenalina, 276
- Nordau, Max, 44
 - *Entartung* [Degenerazione], 44
- notocorda, 29, 73
- nucleici, acidi, 220-2
- nucleotidi, 141, 221
- Nullius in verba*, 41
- nurture, 96

- Ochoa, Severo, 54
- oculomotori, muscoli, 27, 78
- oftalmia simpatica, 175
- oligofrenia fenilpiruvica, 121
- olismo, 223-4
- oma, suffisso, 59
- omeomorfe, forme, 133-4
- omeotermi, animali, 284
- omeotermia, 212
- omologia, 27, 131, 224
- omotrapianto, 154
- omozigosi, 149
- omozigote, 145
- onco-, prefisso, 59
- oncogenesi, 63
- oncogeno, 59
- oncologia, 59
- oncovirus, 59
- oncofori, 44
- Onions, C.T., 207
- onniscienza divina, 65
- ontogenesi, 152-3, 246
- oocito, 153-4
- Oparin, Aleksandr Ivanovič, 229
- ordine, 278
 - in biologia, 224-8
- ordini di grandezza, 228-9
- orecchio, ossicini dell', 27
- organi rudimentali, 119
- Orgel, Leslie, 181
- origine della vita, 229-30
- ormoni, 92-4
 - trofici, 69
- ornitologia, 230-1
- ornitosi, 309
- Orthogoriscus*, 293
- orticaria, 22-3
- Orwell, George, 31
- ossigeno, ciclo del, 90
- osteoma, 59
- ovocito, 153
- ovulazione, 261-2
- ovuli, 145
- Owen, Richard, 224
- Oxford, Università di, 26

- Paley, William, 84
- pancreas, 92
- panencefalomielite sclerosante subacuta, 175
- Pangea, 166
- Pangloss, dottor, 57
- panglossismo, 57, 281
- parabiosi, 154
- paradigma dominante, 186
- paradosso, 313
- paralisi bulbospinale, 209
- paramelidi, 155

- parametro maltusiano, 125
 parassitismo, 265
 paratiroidi, 94
 parotide, 92
 partenogenesi, 157, 232
 - artificiale, 232
 parti gemellari, 154
 parti plurimi, 146
 Pascal, Blaise, 163
 Pasteur, Louis, 138
 - esperimento di, 138
 Pašukanis, 203
 Pearson, Karl, 255
 pedomorfosi, 218
 Peirce, Charles Sanders, 186
 pelle, trapianto di, 291
Penguin Dictionary of Biology, 8, 95
 penicillina, 36-7, 263
 - streptococchi e stafilococchi resistenti alla, 119
Penicillium notatum, 36
 pepsina, 94
 pericario, 266
Peripatus, 44
 pesce istrice, 293
 pesce luna, 293
phylum, 277
Physalia (caravella portoghese), 177
 piante, comportamento delle, 190-1
 picometro, 228
 pienezza, principio di, 106
 pigmentazione, 95
 Piltown, frode di, 135, 232-3
 pineale, occhio, 120
 pinocitosi, 287
 piramidale, via, 219
 pirenoforo, 266
 pirimidine, 221
 Pitagora, 129
 placenta, 154-5
 placentali o placentati, 154
 plasma germinale, 303
 plasma sanguigno, 254
 plasmaferesi, 209
Plasmodium, 205
 - *berghei*, 173
 - *falciparum*, 87
 plastoderma, 153
 platirrini, 237
 Platone, 56, 105, 129, 136, 163
pleiotropia, 121
 pluteo, larva, 151
 Plücker, Julius, 131
 poetismo, 256
 poiesi, 233-4
 polifenia, 121
 polimorfismo, 87, 155-6
 - RH, 101
 poliomielite, 306
 poliovirus, 306
 poliploidia, 77
 polli, allevamento in batteria, 34
 polmone dell'agricoltore, 22
 Pope, Alexander, 306
 popolazione(-i), 80
 - aumento e controllo della, 234-6
 - composizione per età, 107
 - genetica delle, 156-7
 Popper, Karl, 61, 104, 186, 274
 - *Conoscenza oggettiva*, 104
 - *La società aperta e i suoi nemici*, 274
 - *Miseria dello storicismo*, 274
 Porter, George, 85
 Pott, Percival, 63
 Power, Henry, 41
 preformazione, 144
 pressione di mutazione, 216
 Present, I.I., 201-2
Primates, 236
 primati, 236-7
 - faccia dei, 237

- procarioti, 75
 pronefro, 276
pronephros, 94
 proprietà emergenti, 251
 propriocezione, 260
 Prospero, 96
 proteasi, 94
 proteine, 237-9
 proteoclastico, enzima, 94
 proteolitico, enzima, 94
 protoplasma, 14, 65, 239-40
Protopterus, 84
 protozoi, 66, 240-2
pseudonavicellæ, 284
pseudopodia, 283
 pseudopodi, 283
 psiche, sua influenza sul soma, 207-8
 psittacosi, 309
 pteranodonte, 242
 pterodattilo, 40, 242
 pterosauri, 40
 Punnett, R.C., 215
 purine, 221
Pyrosoma, 177
- QI (quoziente di intelligenza), 97-8, 125, 135
 quartana, febbre, 205
- rachischisi, 243
 radiazioni ionizzanti, 152
 Ramón y Cajal, Santiago, 266
 razze, 280
 recessive, anomalie, 117
 recessive, condizioni, 116
 recessività, 143-4
 regno (*regnum*), 277
 regressioni, 45
 Rembrandt, Harmenszoon van Rijn, 300
- retroazione, 68, v. anche *feedback*
 - positiva, 69
 Rh, fattore, 115, 243-4
 - antigene, 244
 - negativo, 243
 - positivo, 243
 ribonucleico, acido, 221
 ribosio, 221
 ribosoma, 221
 ricapitolazione, 244-7
 - legge di, 153, 244-6
 riccio di mare, 310
 ricevente, 174
 Rich, Arnold, 198
 Richardson, Samuel, 306
 - *Clarissa*, 306
 ricombinazione:
 - genetica, 158, 262
 - meiotica, 142
 riduttiva, analisi, 247-9, 251
 riduzionismo, 223-4, 247-52, 267
 riflesso, 252-3
 - condizionato, 253
 rigenerazione, 157
 rigetto, 176
 - degli allotrapianti, 176
 riproduzione:
 - sessuale, 157
 - tasso netto, 83, 125
 - vegetativa, 157
 risposta, 252
 RNA (acido ribonucleico), 54, 195-6, 221
 - messaggero, 54, 221
 - di trasporto, 54, 221
 Rockefeller Institute for Medical Research, 53
 Ross, Ronald, 206
 Roux, Wilhelm, 310
 Royal Society, 41, 308
 rudimentali, caratteri, 103
 Russell, W.M.S., 33
 Ryle, Gilbert, 48

- *The Concept of Mind*, 48
- sacco del tuorlo, 157
- sacco vitellino, 155, 157
- sagitte, 73
- Salk, Jonas, 308
- Salk, vaccino, 306
- Salvarsan, 263
- sangue, 187-8, **254-6**
 - antigeni nel, 244
 - e sua circolazione, **254-6**
 - teoria dell'origine marina del, 255-6
- sanguigni, gruppi, 155
- Sanguinea* (animali sanguigni), 277
- sarcoma, 60
- Schaumann, malattia di, 22-3
- schistosomi, 210
- schistosomiasi, 48-9
- Schleiden, Matthias, 66
- Schrödinger, Erwin, 78, 148, 226-7
 - *Che cos'è la vita*, 78, 226
- Schumann, Robert, 163
- Schwann, Theodor, 66
- scientismo, 256
- Scienziato Pazzo, 50
- scimmie antropomorfe, 100-1, 237, **256-7**, 301-2
- scimmie cinomorfe, 237
- scimpanzé, 237, 300-1
- sclerosi multipla, 175
- Scopes, John T., 74
- scopo, 281
- scorbuto, 312
- Secundates*, 236
- segregazione, 140-1
 - legge di, 158
- selenociti, 29
- selezione:
 - artificiale, 50
 - di gruppo, **169-70**
 - naturale, 113, 127, 215-7, **257-8**, 268: nell'evoluzione esosomatica, 103
- tramite consanguinei, 24-5, 268
- selvatici, geni, 151
- semantica, 187
- Seneca, Lucio Anneo, 162
- senescenza, 171, **179-83**
- senso, organi di, **258-60**
- Serveto, Miguel, 255
- sessi, rapporto numerico fra, 159-60
- sessili, animali, 261
- Sesso, accertamento del, 140, 159
- Sesso, determinazione del, 140, 158-60
- sessuali, cicli, **261-2**
- sessualità, **262-3**
- Sewell, Anna, 30
 - *Black Beauty*, 30
- Shakespeare, William, 96
 - *La tempesta*, 96
- Sharpey-Schafer, Edward Albert, 266
- Shaw, George Bernard, 105, 192, 310
- Shelley, Percy Bysshe, 234
 - *Defence of Poetry*, 234
- Sherrington, Charles, 253
- shock anafilattico, 22
- SIAL, 166
- Sidney, Philip, 42
 - *Apologie for Poetry*, 42
- siero, 254
- sifilide, **263-4**
- SIMA, 166
- simbiosi, **264-5**
- simpatico, sistema nervoso, v. sistema nervoso simpatico
- sinapsi, 220, 266
- sintassi logica, 187
- sistema genetico, 160
- sistema nervoso simpatico, **265-7**

- sistema nervoso, struttura cellulare, 266
- Skinner, Burrhus F., 252
- Šlykov, G.N., 203
- Smith, F.A., 195-6
- Smith, John Maynard, 25, 281
- *The Evolution of Sex*, 262
- Smuts, Jan Christiaan, 223
- *Holism and Evolution*, 223
- socialismo, 107
- sociobiologia, 24-5, 267-9
- sociolinguistica, 269
- sociologia, 248
- soma, 303
- sonno, malattia del, 241
- sopravvivenza del più adatto, 127
- sopravvivenza, tavola di, 269-70
- sostituzione, attività di, 111
- specie, 278-80
- specificità, 270
- Spencer, Herbert, 103, 127
- *Principi di sociobiologia*, 269
- *System of Philosophy*, 269
- speranza media di vita alla nascita, 82
- spermatozoo, 145, 153
- spermi, 145
- spina bifida, 28, 243, 282
- spirochete, 242, 263-4
- spore, 271
- stafilococchi, 119
- Stalin (Iosif Vissarionovič Džugašvili), 203
- stazione eretta dell'uomo, 100
- Steiner, Jacob, 131
- Stephen, Leslie, 269
- sterilità, e suoi rimedi, 271-3
- steroidi corticosurrenali, 23
- storicismo, 273-4
- Strangeways, Thomas, 126
- streptococchi, 119
- stress, 276
- stricnina, 290
- Strychnos toxifera*, 78
- substrato, 94
- sudorazione, 274-5
- emotiva, 275
- termica, 275
- sudore, 274
- Suess, Eduard, 166
- suicidio, 197
- sulfamidici, 36
- Sullivan, Arthur, 160
- superovulazione, 271
- surrenali, ghiandole, 93-4, 99, 275-6
- sostanza corticale, 276
- sostanza midollare, 276
- svasso maggiore, 108, 231
- Svezia, 82
- Tarski, Alfred, 187
- *Logic, Semantics and Metamathematics*, 187
- Tasmania, 35
- tassonomica, unità, 277-81
- Teilhard de Chardin, Pierre, 190, 233, 251-2
- *Il fenomeno umano*, 106, 233
- teleologia, 281-2
- teleonomia, 282
- temperanza, 182
- teoria e ipotesi, 185-8
- teratologia, 282
- terminologia, 282-4
- termodinamica, seconda legge, 226-8
- termoregolazione, 274, 284-5
- Tertiates*, 236
- terzana, febbre, 205
- tessuto(-i):
- coltura dei, 285-9
- conservazione dei, 285-9: mediante essiccazione, 289; mediante surgelazione, 289

- di granulazione, 57
- Tetide, 166
- tetrapodi, 140
- Thomas, Lewis, 60, 176
- Thompson, D'Arcy Wentworth, 129, 296-8
 - *Growth and Form*, 293
- Tillich, Paul, 144
- timina, 221
- Tinbergen, Niko, 231
- tipo (*phylum*), 277
- tiroide, 92-3
- tiroidite:
 - autoimmune, 69
 - di Hashimoto, 175
- tirosinasi, 95
- Tiselius, Arno, 91
- tissutali, sistemi: gruppi di, 155
- tolleranza, 283
- toporagni pigmei, 284
- tossine, 289-90
- trachee, 43
- Tracy, Spencer, 74
- transcriptasi inverse, 195-6
- trapianto, 290-3
 - di pelle, 291
- trascrizione, 221
- trasformazione(-i), 131-4, 293-9
 - come mutamento di coordinate, 296
 - come mutamento di punti, 297
 - proiettive, 132
- trasmissione ereditaria:
 - di difetti agli occhi indotti dall'azione di antisieri anticristallino, 195
 - di modelli di comportamento, 194
- Treponema pallidum*, 264
- tripanosomi, 241
- tripanosomiasi, 242
- tripsina, 94
- tripsinogeno, 94
- trisomia 21, 87
- tritone, 232
- Trockij, Lev Davidovič, 203
- trocofora, larva, 151
- Trypanosoma*:
 - *brucei*, 241
 - *congolese*, 241
 - *cruzi*, 241
 - *gambiense*, 241
 - *rhodiense*, 241
- tse-tse, mosca, 241
- tuber cinereum*, 184
- tubercolina, reazione alla, 23
- tubo neurale mediano, 73
- Tulp, Nicholas, 300
- tumori, 59-62, 72
- Tyson, Edward, 56, 301
- uccelli, 230-1
- uomo, suo posto in natura, 300-3
- uova, albume delle, 22
- uovo e gallina, 303-5
- uovo, cellule, 145, 153-4
- Urey, Harold, 229
- Urschleim*, 239
- Ussher, James 7
- vaccinazione, 306-8
- vaccino, 307
- vaiolizzazione, 306-7
- vaiolo, 306
- Valentine, Robin, 227
- vantaggio riproduttivo, 126
 - netto, 127, 258
- variolizzazione, 306
- Vavilov, Nikolaj Ivanovič, 201, 203
- Vecchio Marinaio di Coleridge, 18-9
- vene, 254

- polmonari, 254
- verità, 97-8, 187
- vermi, 308-9
- vernalizzazione, 201
- vertebrati, 277
 - embrione dei, 92
- viricoltura, 113
- virus, 309
- vita:
 - definizione della, 79-80
 - origine della, 229-30
 - speranza di, 81-3
- vitalismo, 144, 309-11
- vitamine, 311-2
 - A, 312
 - C, 183, 312
 - complesso B, 312
- Vogt, Wilhelm, 129
- Voltaire (François-Marie Arouet), 110, 306-7
 - *Candido*, 57, 84
 - *Dizionario filosofico*, 7-8, 106
- Wagner, Richard, 44
- Wallace, Alfred Russel, 192, 215
- Wallace, linea di, 167
- Watson, David Meredith Seares, 130
- Watson, James, 54
- Watson, John Broadus, 47
- Wegener, Alfred, 166, 167
- Weismann, August, 181, 202, 303-4
- Wells, Herbert George, 106
 - *La macchina del tempo*, 106
- Whewell, William, 85
 - *The Philosophy of the Inductive Sciences*, 187
- Whitehead, Alfred North, 189
 - *Introduzione alla matematica*, 189
- Wiener, Norbert, 68
 - *Cybernetics*, 68
- Wijhe, Johan van, 56
- Wilberforce, Samuel, 75
- Wilde, Oscar, 44, 304
 - *A Woman of no Importance*, 33
- Williams, G.C., 182
- Wilson, Edward O., 267-8
 - *Sociobiologia, la nuova sintesi*, 267
- Wistar, ratti, 194
- Witschi, Emil, 153
- Wodehouse, P.G., 25
- Woodger, Joseph H., 313-4
 - *The Axiomatic Method in Biology*, 313
 - *Biological Principles*, 239, 313
 - paradosso di, 313-4
- Woodward, Arthur Smith, 233
- Wordsworth, William, 34
- Wright, Sewall, 143, 215
- X femminile inattivo, cromosoma, 77
- xerobiologia, 289
- xifosuro, 168
- Young, J.Z., 236
- Zamecnik, Paul, 54
- zanzara anofele, 206
- zigote, 160-1
- zolle, tettonica a, 167
- zoo, 315-6